

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 992 004**

51 Int. Cl.:

G01S 13/90 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.12.2017 PCT/IB2017/058020**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.06.2018 WO18109745**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.12.2017 E 17829703 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.05.2024 EP 3555658**

54 Título: **Método y aparato para controlar las deformaciones de la superficie de un escenario**

30 Prioridad:

15.12.2016 IT 201600127152

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

05.12.2024

73 Titular/es:

**IDS GEORADAR S.R.L. (100.0%)
Via Carducci 32
20123 Milano, IT**

72 Inventor/es:

**COPPI, FRANCESCO y
MICHELINI, ALBERTO**

74 Agente/Representante:

LAHIDALGA DE CAREAGA, José Luis

ES 2 992 004 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

Método y aparato para controlar las deformaciones de la superficie de un escenario

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al campo del radar teledetección para la vigilancia del medio ambiente.

En particular, la invención se refiere al campo de la supervisión de las deformaciones de la superficie de un escenario mediante la tecnología SAR de interferometría diferencial basada en tierra. (*Radar de Apertura Sintética*).

Descripción de la técnica anterior

10 La interferometría con tecnología SAR es muy útil para la vigilancia de taludes, fachadas de edificios, presas, puentes y otros, para obtener mediciones de precisión submilimétrica de los desplazamientos del terreno o de las estructuras con el fin de predecir posibles choques o daños y permitir métodos de prevención y recuperación o, en el peor de los casos, para asegurar el tiempo necesario para despejar la zona potencialmente afectada por el choque y garantizar así la seguridad de quienes trabajan, viven o acuden a la zona.

15 Como es bien sabido, los sistemas de radar interferométrico SAR terrestres proporcionan el manejo a lo largo de una trayectoria, normalmente lineal, de un sensor de radar que, durante el movimiento, emite una señal en la banda de frecuencias de microondas y demodula coherentemente la señal recibida reflejada por el escenario observado y, computando las señales recibidas, obtiene así una imagen bidimensional del escenario observado.

20 En particular, la imagen bidimensional del escenario observado se obtiene mediante un complejo procedimiento de post-procesamiento, basado en la transformada de Fourier y denominado "enfoque", que permite generar imágenes de alta resolución espacial.

25 La tecnología SAR se combina con la técnica interferométrica para obtener la información de la deformación o desplazamiento del escenario observado con resolución bidimensional. En particular, la deformación entre dos instantes de tiempo $t1$ y $t2$ se calcula haciendo la diferencia de fase de $\Delta\phi$ entre el paso $\phi1$ de la imagen obtenida mediante la técnica SAR en el instante $t1$ y el paso $\phi2$ de la imagen obtenida de forma similar en el instante $t2$, donde el desplazamiento medido Δd corresponde a:

$$\Delta d = - \frac{\lambda}{4\pi} \Delta\phi$$

a donde $\Delta\phi = \phi2 - \phi1$ y λ es la longitud de onda de la señal transmitida.

30

Los sistemas de radar interferométrico terrestres se utilizan ampliamente para la vigilancia de deformaciones. En estos sistemas la técnica interferométrica se une a otras técnicas de radar para obtener una imagen bidimensional de la deformación. Por ejemplo, en el sistema descrito en el documento EP2392943 se utiliza la técnica SAR lineal para obtener la resolución angular horizontal $\Delta\phi_0$, aplicando la fórmula siguiente:

$$\Delta\phi_0 \cong \frac{\lambda}{2 \cdot L}$$

35

donde λ es la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia emitida y L es la longitud del barrido lineal realizado con un eje mecánico.

- 5 En cambio, la resolución en distancia ΔR se obtiene transmitiendo y recibiendo una señal modulada linealmente en frecuencia (LFMCW) en una gama de frecuencias B , denominada banda de la señal transmitida, según la fórmula siguiente:

$$\Delta R \cong \frac{c}{2 \cdot B}$$

La adquisición consiste en la repetición a intervalos regulares de capturas LFMCW por el sensor radar durante el barrido lineal impuesto por el eje mecánico.

- 10 El campo de visión horizontal de dicha solución expuesta está limitado por el campo de visión de las antenas utilizadas por el sensor de radar que suele estar asociado al haz horizontal de potencia media de la antena. En cualquier caso, incluso en el caso de antenas ideales, el campo de visión puede no superar los 180°.

- 15 Además, la resolución angular no es uniforme, sino que se degrada alejándose de la dirección ortogonal a la dirección de exploración (dirección de apuntamiento), según la fórmula siguiente

$$\Delta\phi \cong \frac{\lambda}{2 \cdot L \cdot \cos(\phi)} = \frac{\Delta\phi_0}{\cos(\phi)}$$

donde ϕ es el ángulo fijado entre la dirección considerada y la dirección de puntería; así, en las direcciones extremas de $\pm 90^\circ$, la resolución angular diverge hasta el infinito.

- 20 Por esta razón, el campo de visión horizontal máximo realista, aceptando una degradación máxima de la resolución angular de un factor 2, es de unos 120°.

- 25 Una posible solución para superar esta limitación en el campo de visión y en la resolución angular no uniforme se propone en "Arc FMCW SAR and Applications in Ground Monitoring", IEEE Transactions on Geo-science and Remote Sensing (septiembre de 2014). En este documento se sustituye la técnica SAR por la técnica Arc SAR, en la que el sensor de radar emite y recibe señales moduladas linealmente en frecuencia mientras recorre una trayectoria planar manteniendo el radar punteado a lo largo de la dirección radial. De este modo, es posible obtener imágenes bidimensionales del escenario con un campo de visión horizontal teórico de 360°.

A diferencia de la técnica SAR lineal, la resolución angular de la técnica Arc SAR permanece constante en todo el campo de visión de 360°.

- 30 Sin embargo, con la técnica Arc SAR la resolución comienza a degradarse si el objetivo observado no está localizado a la misma altura del plano de rotación. En particular, la resolución se degrada cuanto mayor es el ángulo de *elevación* β del objetivo con respecto al plano de rotación.

- 35 De hecho, durante el procedimiento de enfoque, siguiendo la adquisición radar, el dato Arc SAR se computa sumando todas las aportaciones de la señal recibida hasta que el blanco se encuentra dentro del haz de media potencia de las antenas emisora y receptora, compensando el término de fase de la modulación angular. Sin embargo, sin conocer la elevación del blanco, la fórmula de enfoque estándar supone que el blanco se encuentra en el plano de rotación. Esto significa que un objetivo de elevación cero está idealmente enfocado, pero cuando el ángulo de elevación β aumenta, la resolución se degrada proporcionalmente.

Para superar este inconveniente, el documento mencionado propone un método para compensar el efecto de degradación de la resolución, considerando en el procedimiento de enfoque un valor medio β_0 de elevación del escenario observado. Sin embargo, este procedimiento es eficaz si el escenario observado presenta un rango limitado de ángulos de elevación respecto al valor de referencia, de modo que la degradación sea menos perceptible. Por ejemplo, para un valor medio $\beta_0 = 15^\circ$, el rango aceptable del ángulo de elevación se sitúa entre unos 10° y 19° . Por el contrario, en caso de escenarios con una gran desviación del ángulo de elevación, la degradación de la resolución no puede resolverse con este método.

En el documento "ArcSAR for detecting target elevation" (Massimiliano Pieraccini et al.) publicado el 02/09/2016 se describe un método para determinar la elevación de un objetivo con respecto al plano de rotación de la adquisición ArcSAR, midiendo la diferencia de fase entre las adquisiciones ArcSAR realizadas a diferente altura o con diferente radio.

Resumen de la invención

Es por tanto una característica de la presente invención proporcionar un método para supervisar las deformaciones de la superficie de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial combinada con la técnica SAR que hace posible obtener una resolución angular de los datos interferométricos, datos adquiridos mejor que la técnica anterior, también en el caso de escenarios caracterizados por un amplio rango angular de elevación con respecto al plano de rotación.

También es una característica de la presente invención proporcionar un método de este tipo que permita un paso de procesamiento los datos de radar con un tiempo de cálculo y unos costes reducidos con respecto a la técnica anterior.

Es aún una característica de la presente invención proporcionar un método tal que permita realizar una adquisición radar interferométrica a diferentes alturas de adquisición permitiendo la reconstrucción tridimensional del escenario observado.

También es una característica de la presente invención proporcionar un aparato para aplicar este método.

Estos y otros objetos se consiguen mediante un método para supervisar las deformaciones de la superficie de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial, comprendiendo dicho método las etapas de:

- predisponer un sensor de radar que comprenda al menos una antena emisora y una antena receptora dedicadas a la transmisión y a la adquisición de señales de radar, dicho sensor de radar dispuesto para desplazarse a lo largo de una trayectoria plana γ que tenga centro O ;
- definir un sistema de referencia S que tenga su origen en dicho centro O
- adquiriendo mediante la técnica SAR dicho escenario mediante el manejo de dicho sensor de radar a lo largo de dicha trayectoria planar γ , estando dicho sensor de radar configurado de tal manera que el diagrama de radiación de dichas antenas esté orientado radialmente con respecto a dicho centro O , ocurriendo dicha adquisición se produce en puntos de adquisición situados en dicha trayectoria γ , obteniendo una pluralidad de datos para cada punto de adquisición s_j
- definiendo una pluralidad de puntos objetivo t_j de dicho escenario, la posición tridimensional de cada punto objetivo t_j siendo definible mediante coordenadas esféricas $(\rho_i, \theta_i, \beta_i)$ referidas a dicho sistema de referencia S , siendo conocidos los valores de dichas coordenadas ρ_i y θ_i ; cuya característica principal es que también se proporciona una etapa de determinación tridimensional de dichos puntos objetivo t_j mediante las etapas de:
 - enfocar a una primera altura de adquisición h_1 cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β predeterminado e igual a β_0 ;
 - enfocando a una segunda altura de adquisición h_2 cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β predeterminado e igual a β_0 ;

- 5
- controlando mediante técnica interferométrica dichos enfoques a la altura de adquisición h_{a1} y h_{a2} obteniendo el valor coordinado b_i para cada punto objetivo; y que se prevea además un paso de enfoque global de cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición tridimensional definible por dichas coordenadas esféricas (ρ_i , θ_i , β_i), obteniendo un primer dato radar enfocado. Obteniéndose dicho paso de focalización, para cada punto objetivo t_i , mediante el análisis de los datos obtenidos en cada punto de adquisición si en el que dicho punto objetivo t_i es detectable.

10 De esta forma, mediante la presente invención, es posible obtener una focalización a una resolución de la pluralidad de puntos objetivo mucho mayor con respecto a la técnica anterior, ya que cada punto se focaliza a su propia elevación real con respecto al plano que contiene la trayectoria plana γ .

Esto evita entonces el efecto de "abombamiento" típico de los objetivos que no están enfocados en su elevación sino en una elevación predeterminada muy lejana.

En particular, dicha trayectoria plana γ es una trayectoria.

15 En particular, dicha trayectoria corresponde al menos una antena emisora y una antena receptora dispuestas para la transmisión y para la adquisición de una señal mediante la técnica de modulación lineal de frecuencia.

Ventajosamente, dichos puntos de adquisición están situados en dicha trayectoria γ , son equidistantes entre sí a una distancia angular de n grados.

En particular, aguas abajo de dicha etapa de enfoque global, se proporciona una reiteración de dichas etapas de:

- 20
- adquirir mediante la técnica SAR dicho escenario
 - enfocar globalmente cada punto objetivo t_i , obteniendo un segundo dato radar enfocado;

y donde se proporciona entonces un paso de comparación de dicho primer y segundo dato enfocado mediante técnica de interferometría diferencial, con el fin de controlar la variación de dicho escenario y medir su deformación.

Esto permite la comparación en la que se basa el análisis de la deformación del escenario.

25 Ventajosamente, después de dicha etapa de determinación tridimensional de dichos puntos objetivo t_i se proporciona un paso de simplificación de dicha pluralidad de puntos objetivo t_i de dicho escenario, dicho paso de simplificación proporcionando los pasos de:

- 30
- seleccionar, en dicha pluralidad de puntos objetivo t_i , puntos objetivo t_j que tengan valores idénticos de θ_i , obteniendo un subgrupo de dichos puntos objetivo t_j
 - disponiendo los puntos objetivo t_j en dicho subgrupo para incrementar los valores obteniendo una sucesión ordenada de puntos objetivo t_j de dicho subgrupo;
 - atribuyendo un mismo valor de β_i a los puntos objetivo t_j de dicho subgrupo seleccionado mediante la técnica de regresión isotónica según dicha sucesión ordenada.

35 Esto reduce el cómputo de datos para la fase de enfoque global y reduce también cualquier ruido en la cartografía tridimensional del escenario.

Ventajosamente, dicha etapa de determinación de dichos puntos objetivo t_j se realiza mediante dicho sensor de radar.

40 En esta realización ejemplar, por lo tanto, la adquisición mediante la técnica de interferometría SAR del escenario y la etapa de determinación tridimensional de los puntos objetivo t_j se realizan a través del mismo aparato, en tiempo real y de forma completamente independiente de la adquisición de datos externa, lo que permite un gran ahorro de tiempo e independiza al aparato de la información preexistente.

En particular, en este caso la etapa de simplificación se realiza mediante la técnica de regresión isotónica ponderada en función de parámetros predeterminados, tales como la amplitud y la coherencia en la detección de los puntos objetivo.

45 Ventajosamente, dicho paso de tridimensión al de determinación de dichos puntos objetivo t_j se realiza mediante al menos una antena emisora y al menos dos antenas receptoras que tienen alturas de localización, respectivamente, h_{t1} ,

$hr1, hr2$, con $hr1 \neq hr2$, dicha primera altura de adquisición $ha1$ y dicha segunda altura de adquisición $ha2 \neq ha1$ siendo función de dichas alturas de localización $ht1, hr1, hr2$ según las ecuaciones:

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t1} + h_{r2}}{2}$$

- 5 Alternativamente, dicho paso de determinación tridimensional de dichos puntos objetivo t_j se realiza mediante al menos dos antenas transmisoras y una antena receptora que tienen alturas de localización, respectivamente, $ht1, ht2, hr1$, siendo $ht1 \neq ht2$, siendo dicha primera altura de adquisición $ha1$ y dicha segunda altura de adquisición $ha2 \neq ha1$ función de dichas alturas de localización $ht1, ht2, hr1$ según las ecuaciones:

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t2} + h_{r1}}{2}$$

- 10 En ambas realizaciones descritas anteriormente, las líneas de base de adquisición se encuentran a alturas mediadas entre las alturas de las antenas de transmisión y de recepción.

Alternativamente, dicho sensor de radar comprende dos antenas transmisoras y dos antenas receptoras que tienen alturas de localización, respectivamente, $ht1, ht2, hr1, hr2$ y dicho paso de seguimiento tridimensional de dichos puntos objetivo t_j comprende además los pasos de:

- 15
- enfocar en una tercera altura de adquisición $ha3 \neq ha2 \neq ha1$ cada punto objetivo t_j con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ,
 - enfocando a una cuarta altura de adquisición $ha4 \neq ha3 \neq ha2 \neq ha1$ cada punto objetivo t_j con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;

siendo dichas alturas de adquisición función de dichas alturas de localización $ht1, ht2, hr1, hr2$ según las ecuaciones

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t1} + h_{r2}}{2}$$

$$h_{a3} = \frac{h_{t2} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a4} = \frac{h_{t2} + h_{r2}}{2}$$

Alternativamente, dicho sensor de radar comprende una antena transmisora y cuatro antenas receptoras que tienen alturas de localización, respectivamente, h_{t1} , h_{r1} , h_{r2} , h_{r3} , h_{r4} con $h_{r1} \neq h_{r2} \neq h_{r3} \neq h_{r4}$, y dicho paso de determinación tridimensional de dichos puntos objetivo t_j comprende además los pasos de:

- 5 – enfocar a una tercera altura de adquisición $h_{a3} \neq h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_j con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0
- enfocando a una cuarta altura de adquisición $h_{a4} \neq h_{a3} \neq h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_j con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ; siendo dichas alturas de adquisición función de dicha altura de localización h_{t1} , h_{r1} , h_{r2} , h_{r3} , h_{r4} según las ecuaciones:

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t1} + h_{r2}}{2}$$

$$h_{a3} = \frac{h_{t1} + h_{r3}}{2}$$

$$h_{a4} = \frac{h_{t1} + h_{r4}}{2}$$

Según otro aspecto de la invención, un método de vigilancia de las deformaciones de la superficie de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial comprende las etapas de:

- 15 – predisponer un sensor de radar que comprenda al menos una antena emisora y una antena receptora, la adquisición de señales de radar, dicho sensor de radar dispuesto para desplazarse a lo largo de una trayectoria plana y que tiene centro O;
- definir un sistema de referencia S que tenga su origen en dicho centro O
- 20 – adquiriendo mediante la técnica SAR dicho escenario mediante el manejo de dicho sensor de radar a lo largo de dicha trayectoria planar γ , estando dicho sensor de radar configurado de tal manera que el diagrama de radiación de dichas antenas esté orientado radialmente con respecto a dicho centro O, ocurriendo dicha adquisición se produce en puntos de adquisición en dicha trayectoria γ , obteniéndose una pluralidad de datos para cada punto de adquisición s_j ;
- definiendo una pluralidad de puntos objetivo t_j de dicho escenario, siendo definible la posición tridimensional de cada punto objetivo t_j mediante coordenadas esféricas (ρ_i , θ_i , β_i) referidas a dicho sistema de referencia S, siendo conocidos los valores de dichas coordenadas ρ_i and θ_i ;

cuya característica principal es que también se proporcionan las etapas de:

- 30 – adquirir una cartografía tridimensional de dicho escenario, comprendiendo dicha cartografía una nube de resaltes p_i dispuestos para definir una superficie tridimensional Σ superponible a dicho escenario, cada resalte p_i definible mediante coordenadas esféricas (ρ_k , θ_k , β_k) referidas a dicho sistema de referencia S.
- determinar tridimensionalmente dichos puntos objetivo t_j mediante la intersección, para cada punto objetivo t_j , entre dicha superficie tridimensional Σ y el lugar de puntos que tienen las coordenadas ρ_i y θ_i de dicho punto objetivo t_j , obteniendo un valor de β_j para cada punto objetivo t_j ;
- 35 – enfocar globalmente cada punto objetivo t_j con respecto a su propia posición tridimensional definible por dichas coordenadas esféricas (ρ_i , θ_i , β_i), obteniéndose dicho paso de enfoque, para cada punto objetivo t_j , mediante el análisis de los datos obtenidos en cada punto de adquisición si en el que dicho punto objetivo t_j es detectable.

Según otro aspecto de la invención, un aparato para controlar las deformaciones de la superficie de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial comprende

- 40 – un sensor de radar que comprende al menos una antena emisora y una antena receptora dispuestas para la adquisición de señales de radar;
- una cadena cinemática dispuesta para accionar dicho sensor de radar a lo largo de una trayectoria plana y con centro O para llevar a cabo una adquisición mediante la tecnología SAR de dicho escenario, estando dicho sensor de radar configurado de tal manera que el diagrama de radiación de dichas antenas esté orientado

radialmente con respecto a dicho centro O, produciéndose dicha adquisición en puntos de adquisición si dispuestos sobre dicha trayectoria y, obteniéndose una pluralidad de datos para cada punto de adquisición s_i ;

- una unidad de control dispuesta para proporcionar los pasos de:
 - definir una pluralidad de puntos objetivo t_i de dicho escenario, siendo definible la posición tridimensional de cada punto objetivo t_i mediante coordenadas esféricas ($\rho_i, \theta_i, \beta_i$) referidas a dicho sistema de referencia sistema de referencia S, siendo conocidos los valores de dichas coordenadas ρ_i y θ_i , comprendiendo dicho enfoque los etapas de:
 - enfocando a una primera altura de adquisición h_{a1} cada punto de destino t_i con respecto a su posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;
 - enfocando a una segunda altura de adquisición $h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_i respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;
 - controlando dichos enfoques en las alturas de adquisición h_{a1} y h_{a2} obteniendo un valor de dicha coordenada β_i para cada punto objetivo;

cuya característica principal es que dicha unidad de control también está dispuesta para llevar a cabo una etapa de enfoque global de cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición tridimensional definible por dichas coordenadas esféricas ($\rho_i, \theta_i, \beta_i$), obteniéndose dicha etapa de enfoque, para cada punto objetivo t_i , mediante el análisis de los datos obtenidos en cada punto de adquisición s_i en el que dicho punto objetivo t_i es detectable.

- 20 Ventajosamente, dicho sensor radar comprende al menos una antena emisora y al menos dos antenas receptoras que tienen alturas de localización, respectivamente, h_{t1}, h_{r1}, h_{r2} , siendo $h_{r1} \neq h_{r2}$, dicha primera altura de adquisición h_{a1} y dicha segunda altura de adquisición $h_{a2} \neq h_{a1}$ función de dichas alturas de localización h_{t1}, h_{r1}, h_{r2} según las ecuaciones:

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t1} + h_{r2}}{2}$$

- 25 donde $\frac{\lambda}{10} < |h_{a1} - h_{a2}| < 40\lambda$ siendo λ la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia emitida por dicho sensor radar.

Alternativamente, dicho sensor radar comprende al menos dos antenas emisoras y una antena receptora que tienen alturas de localización, respectivamente, h_{t1}, h_{t2}, h_{r1} , siendo $h_{t1} \neq h_{t2}$, dicha primera altura de adquisición h_{a1} y dicha segunda altura de adquisición $h_{a2} \neq h_{a1}$ función de dichas alturas de localización h_{t1}, h_{t2}, h_{r1} según las ecuaciones:

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t2} + h_{r1}}{2}$$

- 30 donde $\frac{\lambda}{10} < |h_{a1} - h_{a2}| < 40\lambda$ donde λ es la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia emitida por dicho sensor de radar.

Alternativamente, dicho sensor de radar comprende dos antenas transmisoras y dos antenas receptoras que tienen alturas de localización, respectivamente, $h_{t1}, h_{t2}, h_{r1}, h_{r2}$, y en donde dicho paso de determinación tridimensional de dichos puntos objetivo t_i comprende además los pasos de:

- 35
- enfocando a una tercera altura de adquisición $h_{a3} \neq h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;
 - enfocando a una cuarta altura de adquisición $h_{a4} \neq h_{a3} \neq h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;

siendo dichas alturas de adquisición función de dichas alturas de localización h_{t1} , h_{t2} , h_{r1} , h_{r2} según las ecuaciones:

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t1} + h_{r2}}{2}$$

$$h_{a3} = \frac{h_{t2} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a4} = \frac{h_{t2} + h_{r2}}{2}$$

Donde $|h_{a1} - h_{a4}| > |h_{a2} - h_{a3}|$.

- 5 Dicha solución tiene la ventaja de que la línea de base mayor $B1 = |h_{a1} - h_{a4}|$ permite mejorar la precisión en la determinación de la altura mediante la técnica interferométrica, mientras que la línea de base menor $B2 = |h_{a2} - h_{a3}|$ permite evitar la ambigüedad de fase en la determinación de la altura.

En particular, es posible establecer $h_{t1} = h_{r1}$ e $h_{t2} \neq h_{t1}$ e $h_{r2} \neq h_{r1}$.

- 10 Alternativamente, es posible fijar $h_{t1} = h_{r1}$ e $h_{t2} = h_{r2}$, de forma que se determinen dos alturas de adquisición h_{a1} (igual a $h_{t1} = h_{r1}$) y h_{a2} (igual a $h_{t2} = h_{r2}$). Esto permite tener dos alturas de adquisición como en las realizaciones con tres antenas, pero con una huella pequeña con los mismos valores de las alturas de adquisición h_{a1} e h_{a2} .

Alternativamente, dicho sensor de radar comprende una antena transmisora y cuatro antenas receptoras que tienen alturas de localización, respectivamente, h_{t1} , h_{r1} , h_{r2} , h_{r3} , h_{r4} , con $h_{r1} \neq h_{r2} \neq h_{r3} \neq h_{r4}$, y en el que dicho paso de determinación tridimensional de dichos puntos objetivo t_i comprende también los pasos de:

- 15
- enfocando a una tercera altura de adquisición $h_{a3} \neq h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;
 - enfocando a una cuarta altura de adquisición $h_{a4} \neq h_{a3} \neq h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_i con respecto a su posición propia considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;

- 20 siendo dichas alturas de adquisición función de dichas alturas de localización h_{t1} , h_{r1} , h_{r2} , h_{r3} , h_{r4} según las ecuaciones:

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t1} + h_{r2}}{2}$$

$$h_{a3} = \frac{h_{t1} + h_{r3}}{2}$$

$$h_{a4} = \frac{h_{t1} + h_{r4}}{2}$$

En dicha realización las alturas $ha4 \neq ha3 \neq ha2 \neq ha1$ pueden ser equidistantes con una distancia menor que λ o colocadas de forma que tengan una línea de base mayor que la otra, como en la realización anterior.

5 Ventajosamente, el aparato comprende además un transductor de posición angular adaptado para proporcionar una posición angular de dichos puntos de adquisición si durante dicha adquisición por técnica SAR de dicho escenario por dicho sensor de radar, a fin de permitir una asociación exacta entre cada adquisición efectuada y una posición de dicho sensor de radar en dicha trayectoria plana y en el momento de dicha adquisición.

En particular, el transductor de posición angular envía un impulso cada centésima de grado recorrida, permitiendo localizar las adquisiciones del radar en los 360 grados de rotación y garantizando el conocimiento y la repetibilidad de los puntos de adquisición sin necesidad de hacer suposiciones sobre la velocidad de rotación del brazo mecánico.

10 Además, el transductor de posición angular comprende un disparador que sincroniza la primera adquisición del radar con la posición inicial de la antena. El disparador y el transductor de posición angular garantizan una repetibilidad angular mejor de al menos un factor 10 en comparación con la resolución angular del radar, que es igual a $0,2^\circ$, y localizan con el mismo nivel de precisión las adquisiciones del radar en 360° .

15 De este modo, se garantiza la repetibilidad de la fase de adquisición con una precisión muy elevada y, por tanto, también la comparabilidad de las adquisiciones sucesivas.

20 Ventajosamente, el aparato comprende un módulo de alimentación que garantiza la autonomía de alimentación de todo el sistema incluso en ausencia de fuentes externas. Este módulo de alimentación puede recargarse mediante paneles solares, turbina eólica o generador diésel. El módulo contiene una tarjeta que gestiona automáticamente el encendido y apagado del generador diésel en función del nivel de tensión y la potencia suministrada por las baterías. El módulo de alimentación también incluye un dispositivo de radio (wifi, 3G / 4G) para controlar a distancia el sistema.

Cerca del sensor de radar también hay al menos una cámara de vídeo adecuada para tomar imágenes durante la fase de adquisición del radar. La cámara de vídeo también está sincronizada con el transductor de posición angular, con el fin de asociar automáticamente las fotos con las respectivas adquisiciones de radar

25 El sensor de radar también incluye un inclinómetro que detecta el cabeceo y el balanceo del sensor de radar con respecto al plano horizontal. Esta información se utiliza para determinar la inclinación del plano de rotación. Para ello, se realizan dos adquisiciones del inclinómetro con la inclinación mecánica del sensor a 0° , posicionando el brazo mecánico en dos direcciones a 90° entre sí. Repitiendo este tipo de medición a lo largo del tiempo también es posible dar una indicación del ajuste de la instalación a lo largo del tiempo: una deriva de los valores de inclinación y balanceo del plano de rotación indica un fallo de la base de instalación del módulo de adquisición.

30 **Breve descripción de los dibujos**

Otras características y/o ventajas de la presente invención son más brillantes con la siguiente descripción de una realización ejemplar de la misma, ejemplificativa pero no limitativa, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La Fig. 1 muestra un diagrama de flujo de un primer método para monitorizar deformaciones superficiales de un escenario, según la presente invención;

35 La Fig. 2 muestra un diagrama de flujo de un segundo método para controlar las deformaciones de la superficie de un escenario, de acuerdo con la presente invención, en la que una adquisición externa de una cartografía tridimensional del escenario del escenario;

La Fig. 3 muestra esquemáticamente un aparato para aplicar el método según la presente invención, que comprende un sensor de radar con dos antenas emisoras y dos antenas receptoras;

40 La Fig. 3A muestra esquemáticamente el sensor de radar, según la presente invención, durante la etapa de inclinación;

La Fig. 4 muestra esquemáticamente una primera realización ejemplar del sensor de radar según la presente invención que comprende dos antenas transmisoras conectadas alternativamente a una cadena de transmisión y dos antenas receptoras conectadas alternativamente a una cadena de recepción;

La Fig. 5 muestra diagramáticamente una segunda realización ejemplar del sensor de radar según la presente invención que comprende dos antenas transmisoras conectadas alternativamente a una cadena de transmisión y dos antenas receptoras conectadas a dos cadenas receptoras dispuestas en paralelo entre sí;

5 La Fig. 6 muestra diagramáticamente una geometría genérica de disposición de antenas y las alturas de adquisición resultantes en un sensor de radar que tiene dos antenas de transmisión y dos antenas de recepción;

La Fig. 7 muestra esquemáticamente una segunda realización ejemplar del sensor de radar según la presente invención, que comprende una antena transmisora conectada a una cadena de transmisión y cuatro antenas receptoras conectadas a cuatro cadenas receptoras respectivas, dispuestas en paralelo entre sí cadenas receptoras dispuestas en paralelo entre sí;

10 La Fig. 8 muestra diagramáticamente una geometría genérica de disposición de antenas y las alturas de adquisición resultantes en un sensor de radar que tiene una antena transmisora y cuatro antenas receptoras.

Descripción de algunas realizaciones ejemplares preferidas

15 La Fig. 1 muestra un diagrama de flujo 300 en el que se representa esquemáticamente un método de vigilancia de las deformaciones superficiales de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial, según la presente invención, en el que se prevé una primera etapa de predisposición de un sensor radar 110 que comprende al menos una antena emisora 111 y una antena receptora 112 dispuestas a la transmisión y a la adquisición de una señal modulada mediante la técnica de modulación lineal en frecuencia, dicho sensor radar 110 dispuesto para desplazarse a lo largo de una trayectoria plana y que tiene centro O [301].

20 El método comprende además una etapa de definición de un sistema de referencia S que tiene origen en dicho centro O [302] y una etapa de adquisición, por técnica SAR, del escenario mediante el manejo del sensor radar 110 a lo largo de la trayectoria plana γ . En particular, la adquisición se realiza en puntos de adquisición si dispuestos sobre la trayectoria γ , obteniéndose una pluralidad de datos para cada punto de adquisición si [303].

25 A continuación, se define una pluralidad de puntos objetivo t_i del escenario. La posición tridimensional de cada punto objetivo t_i puede definirse mediante coordenadas esféricas p_i , θ_i , β_i referidas al sistema de referencia S, donde son conocidos los valores de las coordenadas p_i y θ_i [304].

A continuación, el método prevé una etapa de determinar los puntos objetivo t_i , mediante:

- enfocando a una primera altura de adquisición ha_1 cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 [305];
- enfocando a una segunda altura de adquisición $ha_2 \neq ha_1$ cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 [306];
- controlando los enfoques anteriormente descritos en la altura de adquisición ha_1 y ha_2 obteniendo un valor de la coordenada β_i para cada punto objetivo [307].

35 Se proporciona además un paso de enfoque global de cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición tridimensional definible por las coordenadas esféricas p_i , θ_i , β_i . En particular, esta etapa de enfoque se obtiene, para cada punto objetivo t_i , analizando los datos obtenidos en cada punto de adquisición si donde el punto objetivo t_i es detectable [308].

40 En la Fig. 2 se presenta un diagrama de flujo 400 donde se muestra diagramáticamente un método alternativo para monitorizar deformaciones superficiales de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial, según la presente invención, donde los pasos [305], [306], [307] del método mostrado en el diagrama 300 se sustituyen por los pasos [401] y [402].

En particular, la etapa [401] prevé la adquisición de una cartografía tridimensional del escenario desde el exterior. La cartografía comprende una nube de realces p_k dispuestos para definir una superficie tridimensional Σ superponible al escenario, cada realce p_k definible mediante coordenadas esféricas p_k , θ_k , β_k referidas al sistema de referencia S.

El paso [402] proporciona en cambio la determinación tridimensional de los puntos objetivo t_j mediante la intersección, para cada punto objetivo t_i , entre la superficie tridimensional Σ y el lugar geométrico de los puntos que tienen las coordenadas p_i y θ_i del propio punto objetivo t_i , obteniendo un valor de β_i para cada punto objetivo t_j .

5 De este modo, la etapa de determinación tridimensional de los puntos objetivo t_j se simplifica, pero al mismo tiempo depende de una adquisición externa, que no siempre está disponible. La realización ejemplar de la Fig. 1, en cambio, lleva a cabo todo el método sin necesidad de una adquisición externa, utilizando únicamente el sensor de radar 110.

En la Fig. 3 se muestra diagramáticamente un aparato 100, diseñado para implementar el método según la presente invención, que comprende un sensor de radar 110 que tiene dos antenas transmisoras 111 y dos antenas receptoras 112.

10 La figura 3A muestra esquemáticamente el sensor de radar 110, destacando la posibilidad de realizar una rotación alrededor de un eje paralelo al suelo, con el fin de variar la inclinación de las antenas.

En general, la diferencia entre dos alturas de adquisición ha_1 e ha_2 , también denominadas líneas de base ($B = |ha_1 - ha_2|$), se elige de forma que se evite la ambigüedad de fase en la determinación de la altura del blanco con respecto al plano de rotación mediante la utilización de la técnica interferométrica entre adquisiciones realizadas a alturas diferentes. La condición que debe respetarse para evitar la ambigüedad de fase es la siguiente:

$$B = \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{R_{min}}{\Delta Z_{max}}$$

donde λ es la longitud de onda de la señal de radar, R_{min} es la distancia mínima entre el radar y el objetivo/zona de medición y ΔZ_{max} la elevación máxima en la zona de medición.

20 Por otro lado, con la misma precisión σ_ϕ en la medida de la fase interferométrica ϕ cuanto mayor sea la línea de base mejor será la precisión σ_z en la medida de la altura Z , ya que:

$$\sigma_z = R \cdot \frac{\lambda}{4\pi B} \cdot \sigma_\phi$$

donde R es la distancia al radar.

25 La Fig. 4 muestra esquemáticamente una primera realización ejemplar del sensor radar 110, según la presente invención, que comprende dos antenas emisoras 111 y dos antenas receptoras 112, todas ellas situadas a diferentes alturas ht_1 , ht_2 , hr_1 , hr_2 . Las antenas de transmisión 111 están conectadas alternativamente a una cadena de transmisión única y, de forma similar, las antenas de recepción 112 están conectadas alternativamente a una cadena de recepción. Esto significa que tanto las antenas transmisoras 111 como las antenas receptoras 112 funcionan de manera no contemporánea. De este modo, es posible ajustar la altura de adquisición ha_1 de la señal según qué antenas se activen, pero no es posible proporcionar otra altura de adquisición $ha_2 \neq ha_1$ al mismo tiempo.

30 La Fig. 5 muestra esquemáticamente una segunda realización ejemplar del sensor radar 110, alternativa a la de la Fig. 4, en la que las antenas emisoras 111 están conectadas alternativamente a una única cadena de transmisión mientras que las antenas receptoras 112 están conectadas a dos cadenas independientes de recepción dispuestas en paralelo entre sí. De este modo, es posible proporcionar dos alturas de captación diferentes ha_1 y ha_2 al mismo tiempo. En particular, ambas pueden elevarse o bajarse, dependiendo, respectivamente, de si se selecciona la primera o la segunda antena transmisora.

35 En aras de la claridad, en la Fig. 6 se muestra esquemáticamente una posible geometría, aplicable tanto a la primera realización ejemplar de la Fig. 4 como a la segunda realización ejemplar de la Fig. 5, de la disposición de las antenas y las alturas de adquisición resultantes, en un sensor de radar 110 que tiene dos antenas emisoras 111 y dos antenas receptoras 112.

5 Como puede observarse, diferenciando adecuadamente las alturas de posicionamiento de las antenas, es posible proporcionar hasta cuatro alturas de adquisición diferentes $ha_4 \neq ha_3 \neq ha_2 \neq ha_1$, y dichas alturas de adquisición pueden variar de valor tanto cambiando los valores de las alturas de posicionamiento de las antenas como cambiando la dependencia de cada altura de adquisición por las alturas de posicionamiento. Incluso manteniendo constante las alturas de posicionamiento, es por lo tanto posible cambiar la altura de adquisición combinando diferentemente las alturas de posicionamiento sí mismo.

10 La Fig. 7 muestra esquemáticamente una tercera realización ejemplar del sensor de radar 110, según la presente invención, que comprende una antena de transmisión 111 conectada a una cadena de transmisión y cuatro antenas de recepción 112 conectadas a cuatro cadenas de recepción independientes dispuestas paralelamente entre sí independientes dispuestas en paralelo.

También en este caso, como se muestra a modo de ejemplo en la Fig. 8, es posible obtener contemporáneamente hasta cuatro alturas de adquisición diferentes $ha_4 \neq ha_3 \neq ha_2 \neq ha_1$.

15

20

25

30

35

REIVINDICACIONES

1.- Método para supervisar las deformaciones de la superficie de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial, dicho método comprende los pasos de:

- 5 - predisponer un sensor de radar (110) que comprenda al menos una antena emisora (111) y una antena receptora (112) dispuestas para la transmisión y adquisición de señales de radar, dicho sensor de radar (110) dispuesto para desplazarse a lo largo de una trayectoria plana γ y de centro O
- definir un sistema de referencia S con origen en dicho centro O
- 10 - adquirir por técnica SAR dicho escenario mediante el manejo de dicho sensor radar (110) a lo largo de dicha trayectoria plana γ , estando dicho sensor radar (110) configurado de tal manera que el diagrama de radiación de dichas antenas (111,112) esté orientado radialmente con respecto a dicho centro O , produciéndose dicha adquisición en puntos de adquisición s_i dispuestos sobre dicha trayectoria γ , obteniéndose una pluralidad de datos para cada punto de adquisición s_i , realizándose dicha adquisición al menos a una primera altura de adquisición ha_1 y a una segunda altura de adquisición $ha_2 \neq ha_1$;
- 15 - definiendo una pluralidad de puntos objetivo t_i de dicho escenario, definiéndose la posición tridimensional de cada punto objetivo t_i mediante coordenadas esféricas ($\rho_i, \theta_i, \beta_i$) referidas a dicho sistema de referencia S , siendo conocidos los valores de dichas coordenadas ρ_i y θ_i ;

dicho método comprende además una etapa de determinación tridimensional de dichos puntos objetivo t_i mediante las etapas de:

- 20 - enfocar en dicha primera altura de adquisición ha_1 cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;
- enfocar a dicha segunda altura de adquisición $ha_2 \neq ha_1$ cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;
- 25 - controlando, mediante técnica interferométrica, dichos enfoques en la altura de adquisición ha_1 y ha_2 obteniendo un valor de dicha coordenada β_i para cada punto objetivo; caracterizado porque se prevé además una etapa de enfoque global de cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición tridimensional definida por dichas coordenadas esféricas ($\rho_i, \theta_i, \beta_i$), obteniéndose un primer dato radar enfocado, obteniéndose dicha etapa de enfoque, para cada punto objetivo t_i , analizando los datos obtenidos en cada punto de adquisición s_i en el que dicho punto objetivo t_i es detectable.
- 30 una etapa de determinación tridimensional de dichos puntos objetivo t_i mediante las etapas de:
 - enfocar a dicha primera altura de adquisición ha_1 cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;
 - enfocando a dicha segunda altura de adquisición ha_2 cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;
- 35 - controlando, mediante técnica interferométrica, dichos enfoques a dicha altura de adquisición ha_1 y ha_2 obteniendo un valor de dicha coordenada β_i para cada punto objetivo;

caracterizado porque además se proporciona un paso de enfoque global de cada punto de destino t_j con respecto a su propia posición tridimensional definida por dichas coordenadas esféricas ($\rho_i, \theta_i, \beta_i$), obteniendo un primer dato de radar enfocado, dicho paso de enfoque se obtiene, para cada punto del blanco t_j , analizando los datos obtenidos en cada punto de adquisición s_i en el que dicho punto objetivo t_j es detectable.

2. El método de vigilancia de las deformaciones de la superficie de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial, según la reivindicación 1, en el que, a continuación de dicha etapa de enfoque global, se proporciona una reiteración de dichas etapas de

- 45 - adquirir mediante la técnica SAR dicho escenario;

- enfocar globalmente cada punto objetivo t_i , obteniendo un segundo dato radar enfocado; y donde a continuación se proporciona un paso de comparación de dicho primer y segundo dato enfocado mediante técnica de interferometría diferencial, con el fin de controlar la variación de dicho escenario y medir su deformación.

5

3. El método para vigilar las deformaciones de la superficie de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial, según la reivindicación 1, en el que a continuación de dicho paso de determinación t_j tridimensional de dichos puntos objetivo t_j se proporciona un paso de simplificar dicha pluralidad de puntos objetivo t_j de dicho escenario, proporcionando los pasos de:

10

- seleccionando, en dicha pluralidad de puntos objetivo t_i , puntos objetivo t_i que tengan valores idénticos de θ_i , obteniendo un subgrupo de dichos puntos objetivo t_i ;
- ordenando los puntos objetivos t_i en dicho subgrupo para valores crecientes de ρ_i , obteniendo un conjunto ordenado de puntos objetivo t_i sucesión de puntos objetivo t_i de dicho subgrupo;
- atribuir un mismo valor de β_i a los puntos objetivo t_i de dicho subgrupo seleccionados mediante la técnica de regresión isotónica según dicha sucesión ordenada.

15

4. El método para monitorizar deformaciones superficiales de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial, según la reivindicación 1, en el que dicho paso de determinación tridimensional de dichos puntos objetivo t_i se realiza mediante dicho sensor radar (110).

20

5. El método para monitorizar deformaciones superficiales de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial, según la reivindicación 4, en el que dicho paso de determinación tridimensional de dichos puntos objetivo t_i se realiza mediante al menos una antena emisora (111) y al menos dos antenas receptoras (112) que tienen alturas de localización respectivamente, ht_1 , hr_1 , hr_2 , siendo $hr_1 \neq hr_2$, dicha primera altura de adquisición ha_1 y dicha segunda altura de adquisición $ha_2 \neq ha_1$ función de dichas alturas de localización ht_1 , hr_1 , hr_2 según las ecuaciones:

25

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t1} + h_{r2}}{2}$$

30

6. El método para monitorizar deformaciones superficiales de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial, según la reivindicación 4, en el que dicho paso de determinación tridimensional de dichos puntos objetivo t_i se realiza mediante al menos dos antenas emisoras (111) y una antena receptora (112) que tienen alturas de localización respectivamente, ht_1 , ht_2 , hr_1 , siendo $ht_1 \neq ht_2$, dicha primera altura de adquisición ha_1 y dicha segunda altura de adquisición $ha_2 \neq ha_1$ función de dichas alturas de localización ht_1 , ht_2 , hr_1 según las ecuaciones:

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t2} + h_{r1}}{2}$$

35

7. El método para vigilar las deformaciones de la superficie de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial, según la reivindicación 4, en el que dicho sensor de radar (110) comprende dos antenas emisoras (111) y dos antenas receptoras (112) que tienen alturas de localización, respectivamente, ht_1 , ht_2 , hr_1 , hr_2 , y en la que dicha etapa de seguimiento tridimensional de dichos puntos objetivo t_j comprende además las etapas de:

- enfocando a una tercera altura de adquisición $h_{a3} \neq h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;
- enfocando a una cuarta altura de adquisición $h_{a4} \neq h_{a3} \neq h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ; siendo dichas alturas de adquisición función de dichas alturas de localización $h_{t1}, h_{t2}, h_{r1}, h_{r2}$ según las ecuaciones:

5

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t1} + h_{r2}}{2}$$

$$h_{a3} = \frac{h_{t2} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a4} = \frac{h_{t2} + h_{r2}}{2}$$

10

8. El método para controlar las deformaciones de la superficie de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial según la reivindicación 4, en el que dicho radar (110) comprende una antena emisora (111) y cuatro antenas receptoras (112) que tienen alturas de emplazamiento, respectivamente, $h_{t1}, h_{r1}, h_{r2}, h_{r3}, h_{r4}$, siendo $h_{r1} \neq h_{r2} \neq h_{r3} \neq h_{r4}$, y en donde dicho paso de tridimensionalización determinación de dichos puntos objetivo t_i comprende además los pasos de:

- enfocando a una tercera altura de adquisición $h_{a3} \neq h_{a2} = h_{a1}$ cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;
- enfocando a una cuarta altura de adquisición $h_{a4} \neq h_{a3} \neq h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;

15

siendo dichas alturas de adquisición función de dichas alturas de localización $h_{t1}, h_{r1}, h_{r2}, h_{r3}, h_{r4}$ según las ecuaciones:

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t1} + h_{r2}}{2}$$

$$h_{a3} = \frac{h_{t1} + h_{r3}}{2}$$

$$h_{a4} = \frac{h_{t1} + h_{r4}}{2}$$

20

9. Un método para monitorizar deformaciones superficiales de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial, dicho método comprende los pasos de:

- predisponer un sensor de radar (110) que comprenda al menos una antena emisora (111) y una antena receptora (112) dispuestas para la adquisición de señales de radar, dicho sensor de radar (110) dispuesto para desplazarse a lo largo de una trayectoria plana γ que tenga centro O
- definir un sistema de referencia S con origen en dicho centro O
- adquirir mediante la técnica SAR dicho escenario mediante el manejo de dicho sensor radar (110) a lo largo de dicha trayectoria plana γ , estando dicho sensor radar (110) configurado de tal manera que el diagrama de radiación de dichas antenas (111,112) esté orientado radialmente con respecto a dicho centro O, produciéndose dicha adquisición en puntos de adquisición si dispuestos sobre dicha trayectoria γ ,

25

obteniéndose una pluralidad de datos para cada punto de adquisición s_j ;

- 5
- definiendo una pluralidad de puntos objetivo t_i de dicho escenario, siendo definible la posición tridimensional de cada punto objetivo t_i mediante coordenadas esféricas ($\rho_i, \theta_i, \beta_i$) referidas a dicho sistema de referencia S, siendo conocidos los valores de dichas coordenadas ρ_i y θ_i ;
 - adquirir una cartografía tridimensional de dicho escenario, comprendiendo dicha cartografía una nube de realces ρ_i dispuestos para definir una superficie tridimensional Σ superponible a dicho escenario, siendo cada realce ρ_i definible mediante coordenadas esféricas ($\rho_k, \theta_k, \beta_k$) referidas a dicho sistema de referencia S;
- 10
- determinar tridimensionalmente dichos puntos objetivo t_i mediante la intersección, para cada punto objetivo t_i , entre dicha superficie tridimensional Σ y el lugar geométrico de los puntos que tienen las coordenadas ρ_i y θ_i de dicho punto objetivo t_i , obteniendo un valor de β_i para cada punto objetivo t_i ;

caracterizada en una etapa de

- 15
- enfoque global de cada punto objetivo t_j con respecto a su propia posición tridimensional definible por dichas coordenadas esféricas ($\rho_i, \theta_i, \beta_i$), obteniéndose dicho paso de enfoque, para cada punto objetivo t_i , mediante el análisis de los datos obtenidos en cada punto de adquisición s_i en el que dicho punto objetivo t_i es detectable.

20 **10.** Un aparato (100) para el seguimiento de las deformaciones de la superficie de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial, comprendiendo dicho aparato (100):

- un sensor de radar (110) que comprende al menos una antena emisora (111) y una antena receptora (112) dispuestas para la adquisición de señales de radar, efectuándose dicha adquisición al menos a una primera altura de adquisición h_{a1} y a una segunda altura de adquisición $h_{a2} \neq h_{a1}$;
- 25
- una cadena cinemática (120) dispuesta para accionar dicho sensor de radar (110) a lo largo de una trayectoria plana g con centro O para efectuar una adquisición mediante la técnica SAR de dicho escenario, estando dicho sensor radar (110) configurado de forma que el diagrama de radiación de dichas antenas (111,112) esté orientado radialmente con respecto a dicho centro O , ocurriendo dicha adquisición en puntos de adquisición s_j dispuestos sobre dicha trayectoria g , obteniendo una pluralidad de datos para cada punto de adquisición s_j
- 30
- una unidad de control dispuesta para proporcionar los pasos de:
 - o definir una pluralidad de puntos objetivo t_i de dicho escenario, siendo la posición tridimensional de cada punto objetivo t_i definible mediante coordenadas esféricas ($\rho_i, \theta_i, \beta_i$) referidas a dicho sistema de referencia S, siendo conocidos los valores de dichas coordenadas ρ_i y θ_i , comprendiendo dicho enfoque los pasos de:
- 35
- o determinar tridimensionalmente dichos puntos t_j mediante los pasos de:
 - enfocando a una primera altura de adquisición h_{a1} cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;
 - enfocando a una segunda altura de adquisición $h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;
- 40
- controlando dichos enfoques en las alturas de adquisición h_{a1} y h_{a2} obteniendo un valor de dicha coordenada β_i para cada punto objetivo;

dicho aparato (100) caracterizado en que dicha unidad de control está también dispuesta para llevar a cabo una etapa de enfoque global de cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición tridimensional definible por dicha coordenadas esféricas ($\rho_i, \theta_i, \beta_i$), obteniéndose dicha etapa de enfoque, para cada punto objetivo t_i , mediante el análisis de los datos obtenidos en cada punto de adquisición s_i en el que dicho punto objetivo t_i es detectable.

45

11. El aparato (100) para monitorizar deformaciones superficiales de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial, según la reivindicación 10, en el que dicho sensor radar (110) comprende al menos una antena emisora (111) y al menos dos antenas receptoras (112) que tienen alturas de localización, respectivamente, h_{t1}, h_{r1}, h_{r2} , siendo $h_{r1} \neq h_{r2}$, siendo dicha primera altura de adquisición h_{a1} y dicha segunda altura de adquisición $h_{a2} \neq h_{a1}$ función de dichas alturas de localización h_{t1}, h_{r1}, h_{r2} según las ecuaciones:

50

55

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t1} + h_{r2}}{2}$$

5

10 donde $\frac{\lambda}{10} < |h_{a1} - h_{a2}| < 40\lambda$ siendo λ la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia emitida por dicho sensor radar (110).

15 **12.** El aparato (100) para controlar las deformaciones de la superficie de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial técnica, según la reivindicación 10, en el que dicho sensor radar (110) comprende al menos dos antenas emisoras (111) y una antena receptora (112) que tienen alturas de localización, respectivamente, h_{t1} , h_{t2} , h_{r1} , siendo $h_{t1} \neq h_{t2}$, dicha primera altura de adquisición h_{a1} y dicha segunda altura de adquisición $h_{a2} \neq h_{a1}$ función de dichas alturas de localización h_{t1} , h_{t2} , h_{r1} según las ecuaciones:

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t2} + h_{r1}}{2}$$

20 Donde $\frac{\lambda}{10} < |h_{a1} - h_{a2}| < 40\lambda$, siendo λ la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia emitida por dicho sensor radar (110).

25 **13.** El aparato (100) para controlar las deformaciones de la superficie de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial según la reivindicación 10, en el que dicho sensor de radar (110) comprende dos antenas emisoras (111) y dos antenas receptoras (112) con alturas de localización, respectivamente, h_{t1} , h_{t2} , h_{r1} , h_{r2} , y en el que dicho paso de determinación tridimensional de dichos puntos objetivo t_i comprende además los pasos de:

- enfocando a una tercera altura de adquisición $h_{a3} \neq h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;

30 - enfocando a una cuarta altura de adquisición $h_{a4} \neq h_{a3} \neq h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ; siendo dichas alturas de adquisición función de dichas alturas de localización h_{t1} , h_{t2} , h_{r1} , h_{r2} según las ecuaciones:

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t1} + h_{r2}}{2}$$

$$h_{a3} = \frac{h_{t2} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a4} = \frac{h_{t2} + h_{r2}}{2}$$

donde $|h_{a1} - h_{a4}| > |h_{a2} - h_{a3}|$.

5

14. El aparato (100) para controlar las deformaciones de la superficie de un escenario mediante interferometría diferencial según la reivindicación 13, en el que $h_{t1} \neq h_{r1}$ e $h_{t2} \neq h_{r1}$ e $h_{r2} \neq h_{t2}$.

10

15. El aparato (100) para monitorizar deformaciones superficiales de un escenario mediante la técnica de interferometría diferencial, según la reivindicación 10, en el que dicho sensor radar (110) comprende una antena emisora (111) y cuatro antenas receptoras (112) que tienen alturas de localización, respectivamente, h_{t1} , h_{r1} , h_{r2} , h_{r3} , h_{r4} , con $h_{r1} \neq h_{r2} \neq h_{r3} \neq h_{r4}$, y en el que dicho paso de determinación tridimensional de dichos puntos objetivo t_i comprende además los pasos de:

15

- enfocando a una tercera altura de adquisición $h_{a3} \neq h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;
- enfocando a una cuarta altura de adquisición $h_{a4} \neq h_{a3} \neq h_{a2} \neq h_{a1}$ cada punto objetivo t_i con respecto a su propia posición considerando un valor de β_i predeterminado e igual a β_0 ;

20

siendo dichas alturas de adquisición función de dichas alturas de localización h_{t1} , h_{r1} , h_{r2} , h_{r3} , h_{r4} según las ecuaciones:

$$h_{a1} = \frac{h_{t1} + h_{r1}}{2}$$

$$h_{a2} = \frac{h_{t1} + h_{r2}}{2}$$

$$h_{a3} = \frac{h_{t1} + h_{r3}}{2}$$

$$h_{a4} = \frac{h_{t1} + h_{r4}}{2}$$

25

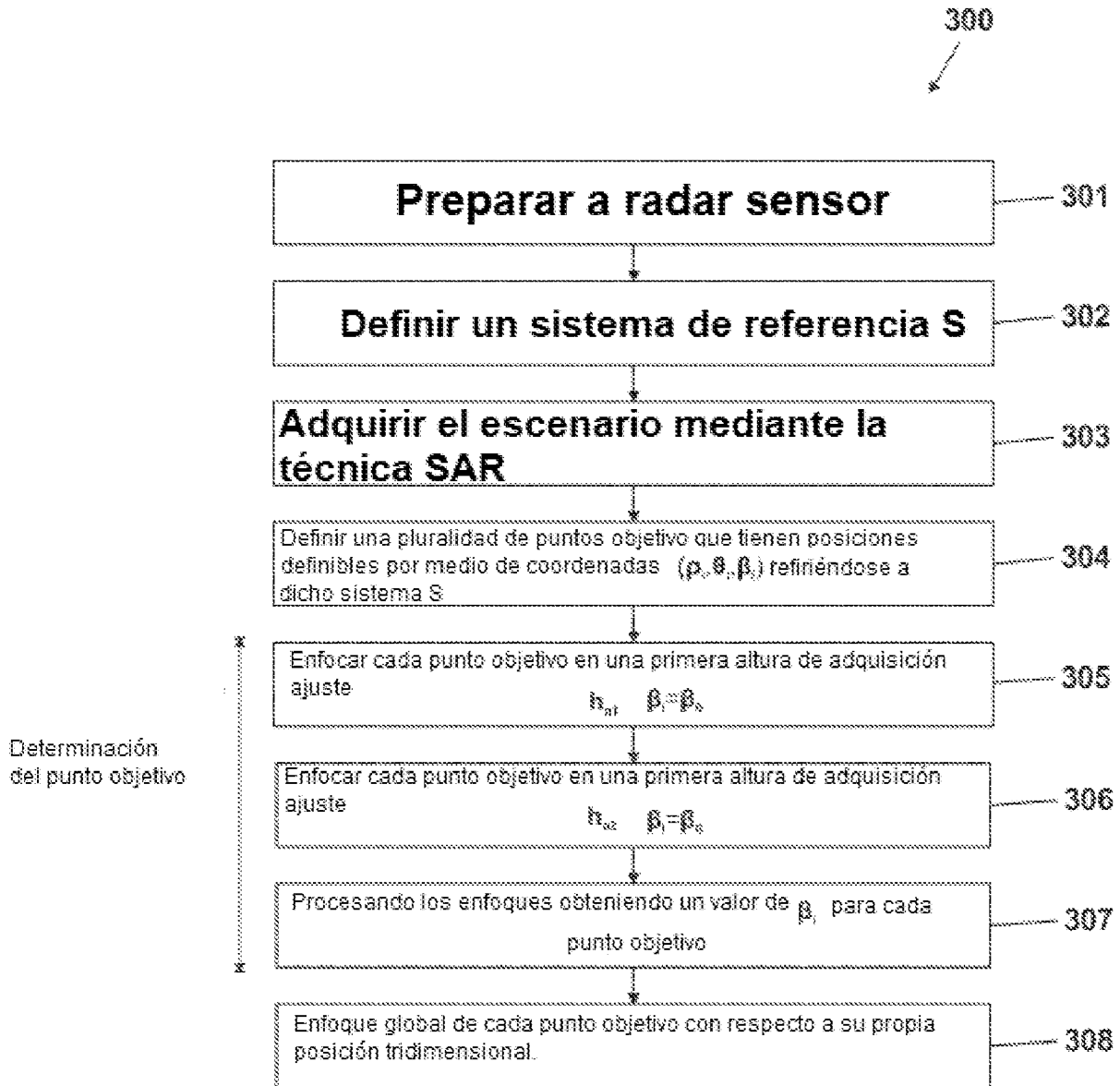


FIG. 1

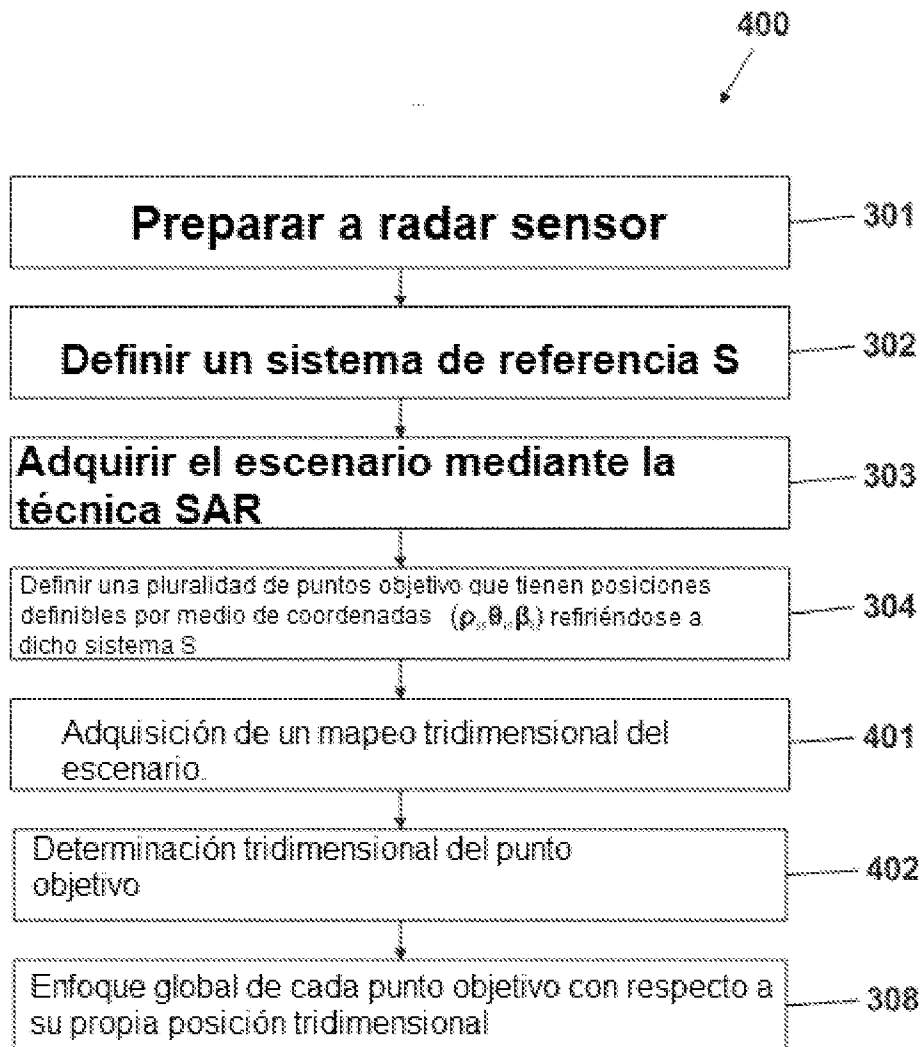


FIG. 2

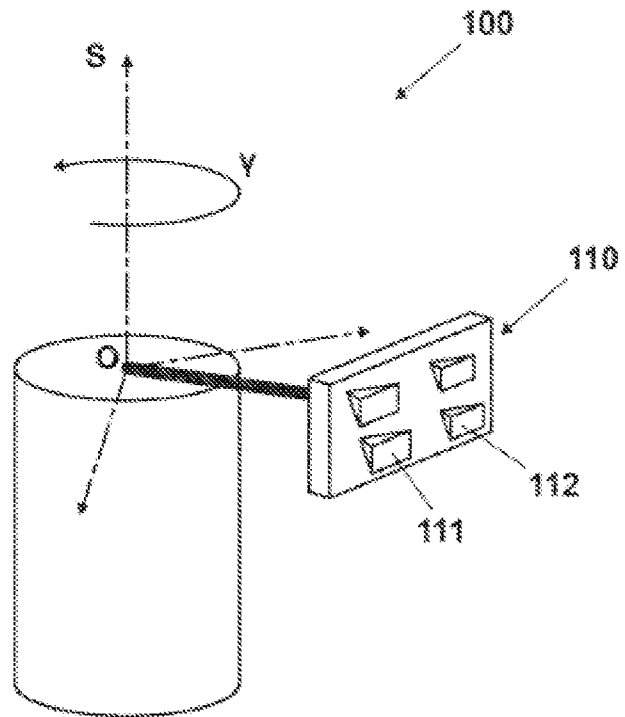


FIG. 3

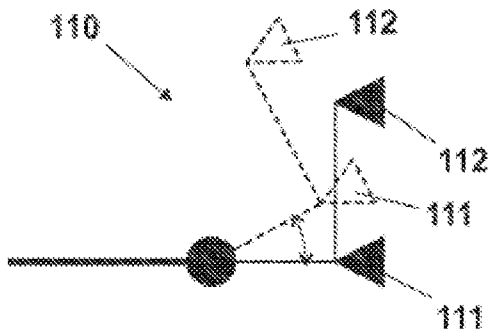


FIG. 3A

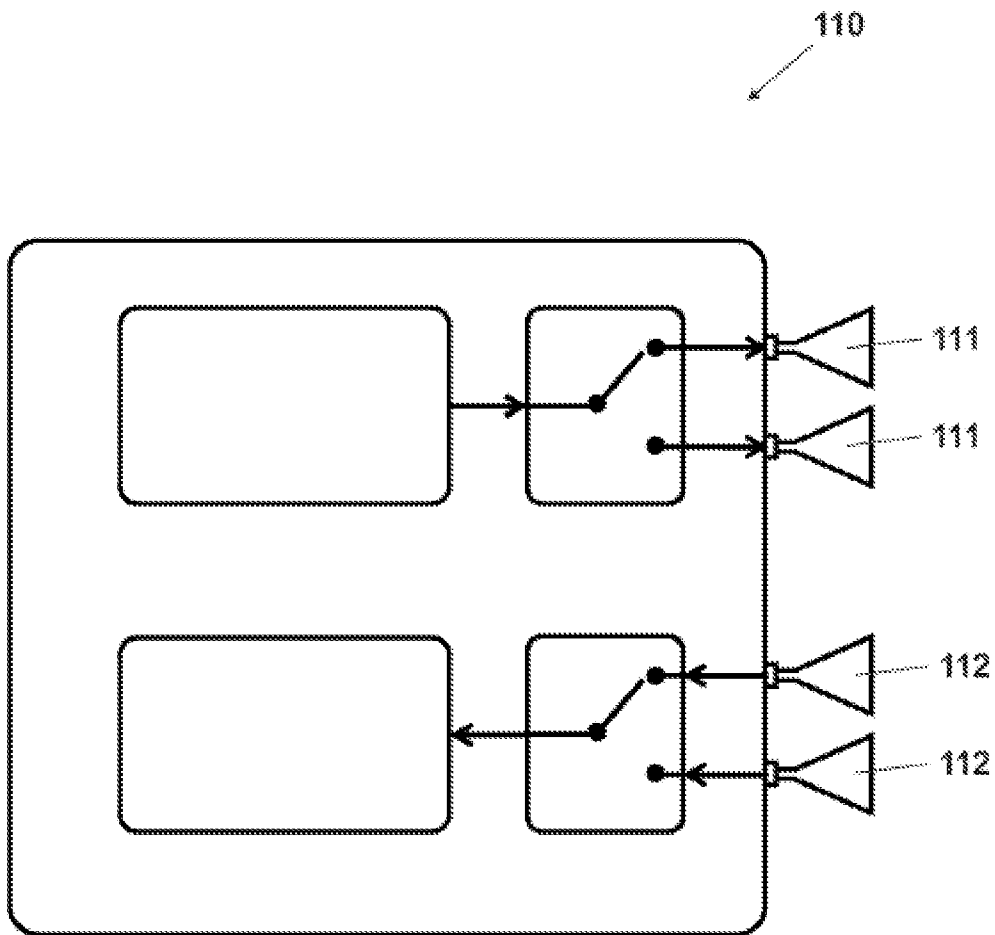


FIG. 4

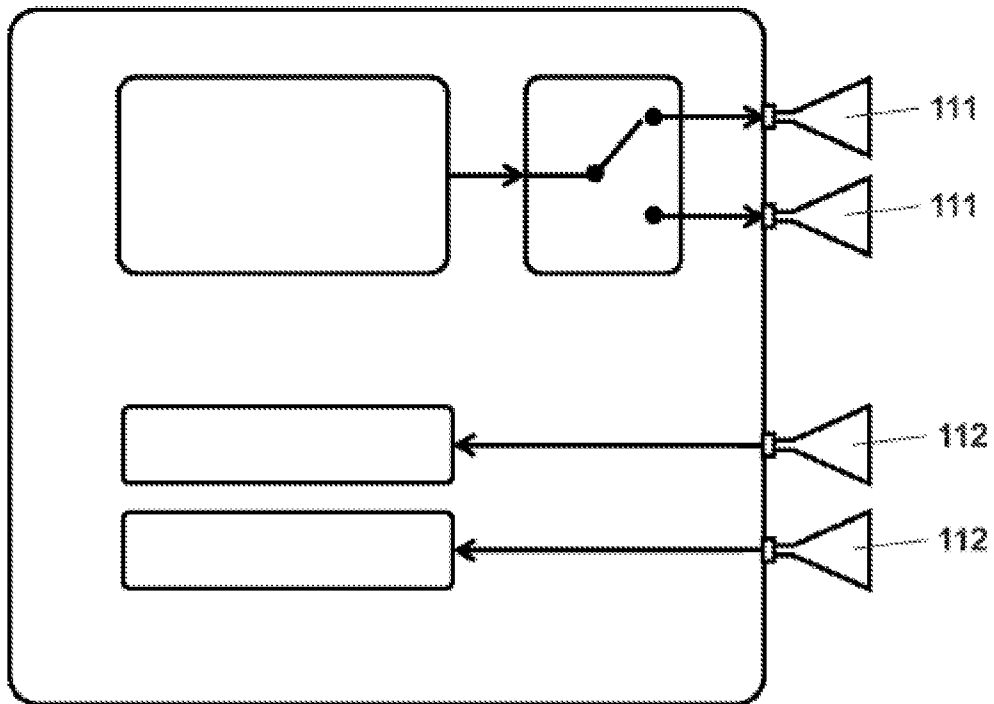


FIG. 5

5

10

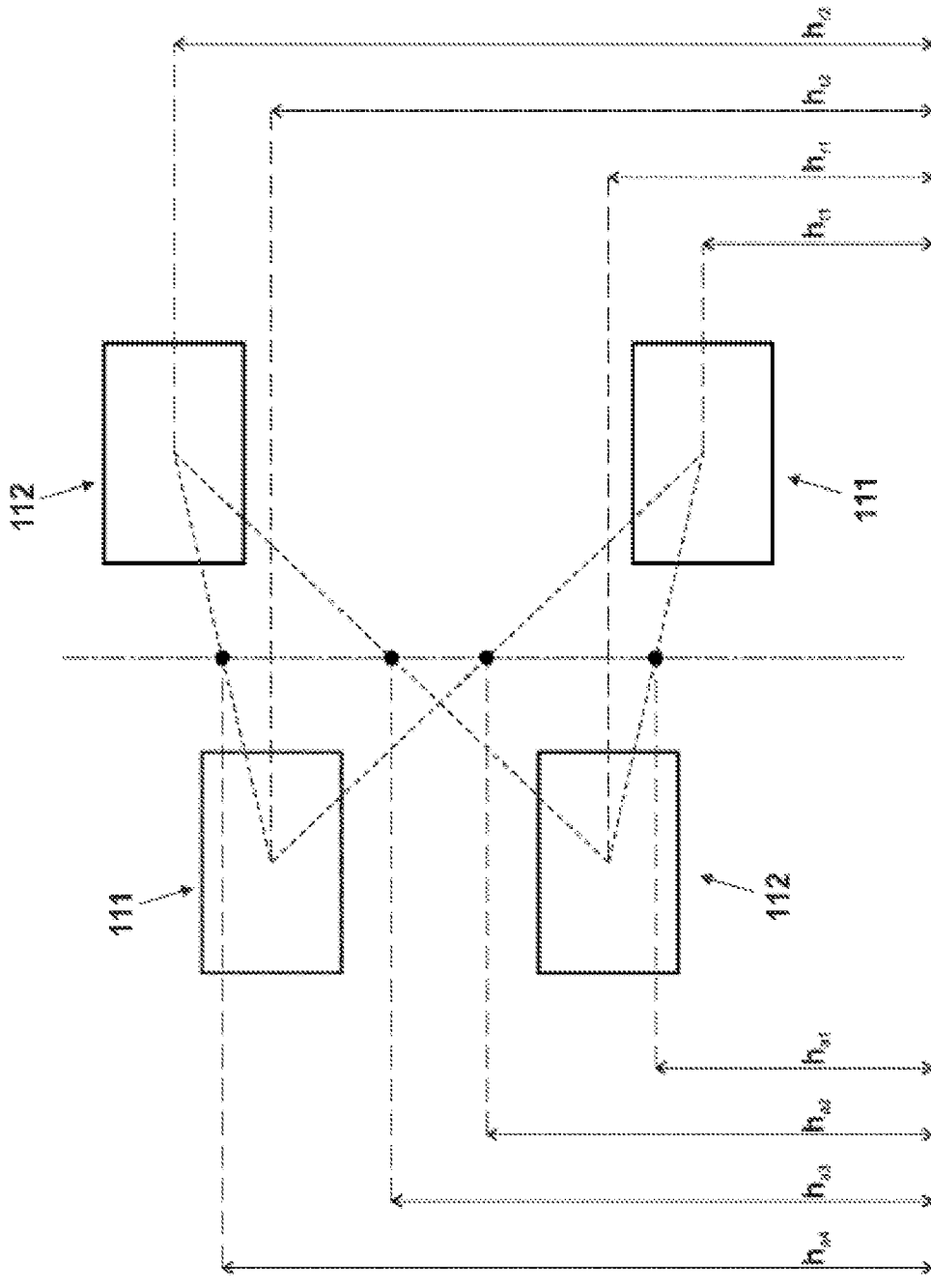


FIG. 6

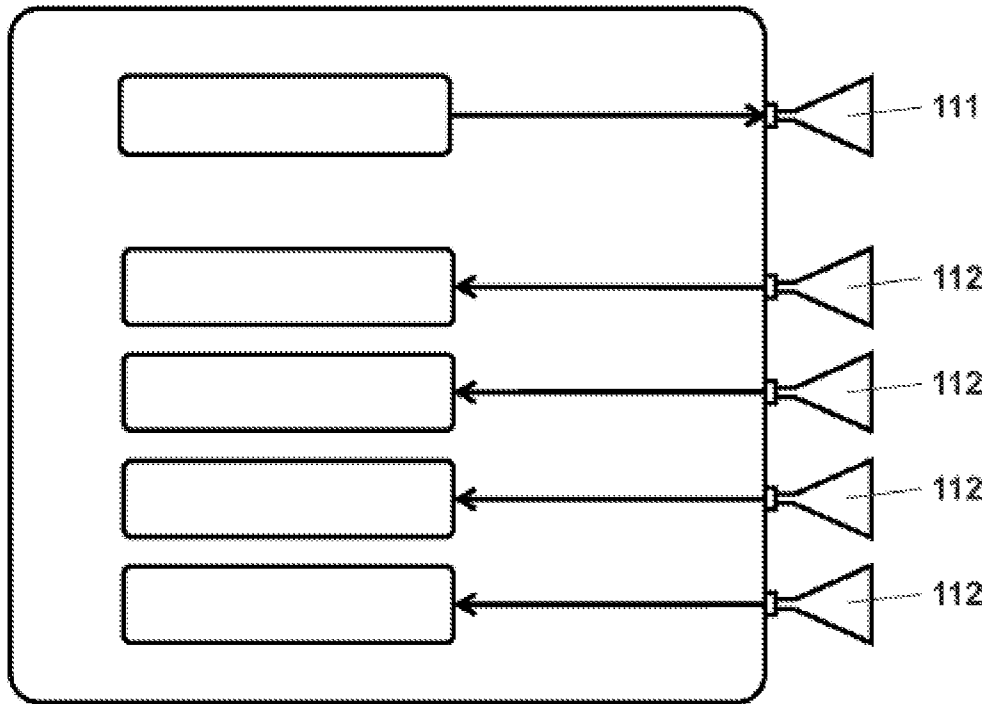


FIG. 7

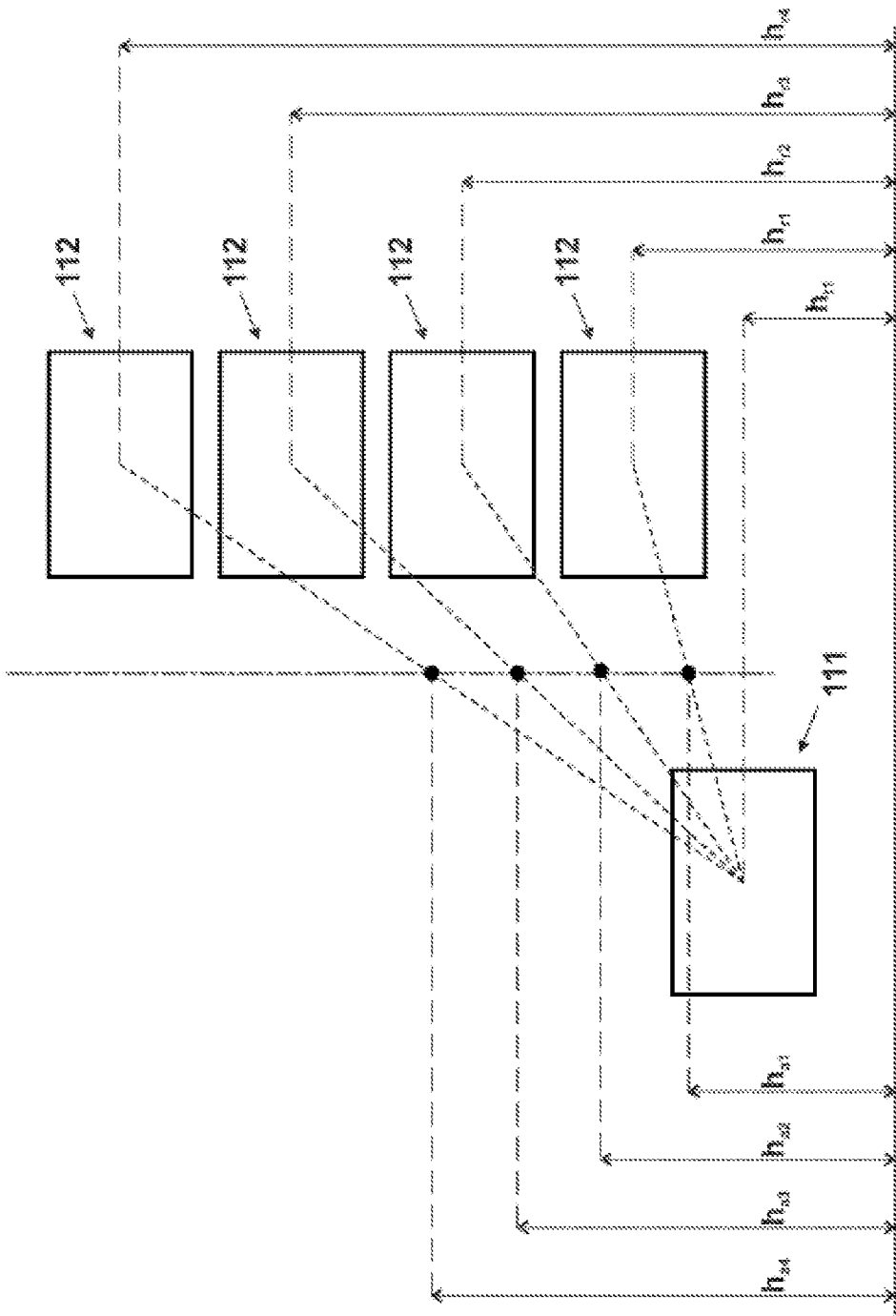


FIG. 8