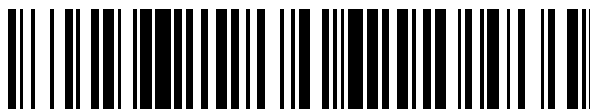


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 775 596**

51 Int. Cl.:

G01S 13/90 (2006.01)

G01S 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.07.2016** **PCT/IB2016/001052**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.02.2017** **WO17017518**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.07.2016** **E 16763934 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2019** **EP 3329297**

54 Título: **Radar interferométrico con antena giratoria**

30 Prioridad:

27.07.2015 IT UB20152526

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

27.07.2020

73 Titular/es:

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FIRENZE (100.0%)
Piazza San Marco 4
50121 Firenze, IT

72 Inventor/es:

PIERACCINI, MASSIMILIANO

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 775 596 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

Radar interferométrico con antena giratoria

- 5 **[0001]** La invención se refiere a un radar interferométrico y, en particular, a un radar interferométrico con antena giratoria con una dirección de visión ortogonal al plano de rotación.

Técnica anterior

- 10 **[0002]** Los radares interferométricos denominados GB-SAR (radares de apertura sintética basados en tierra) concebidos en particular para monitorizar estructuras de grandes dimensiones como laderas, minas a cielo abierto, grandes estructuras arquitectónicas, como torres y puentes, se conocen desde hace algún tiempo. La tecnología GB-SAR es de particular interés porque constituye una técnica de radar capaz de proporcionar mapas de desplazamiento de alta precisión en un intervalo completo de observación. En su conformación básica, los GB-SAR convencionales se obtienen moviendo una antena a lo largo de un eje, como se describe en el artículo de M. Pieraccini, D. Tarchi, H. Rudolf, D. Leva, G. Luzi, C. Atzeni, Interferometric radar for remote monitoring of building deformations, Electronics Letters, vol. 36, núm. 6, págs. 569-570 (2000).
- 15

- [0003]** La patente n.º US5379041 describe un SAR que aprovecha una antena fija en un brazo giratorio y orientada en una dirección radial, lo que permite la creación de imágenes de 360 grados.
- 20

[0004] Sin embargo, el sistema descrito es de tipo no interferométrico, y la imagen se forma en un plano paralelo al plano de rotación en lugar de en un plano ortogonal al mismo.

- 25 **[0005]** La patente n.º EP1145038 describe un radar de apertura sintética interferométrica de antena giratoria, diseñado para medir ángulos, que requiere al menos dos antenas receptoras coherentes y en el que la imagen se forma en un plano paralelo al plano de rotación.

- [0006]** La patente n.º EP2194400 describe un radar no interferométrico constituido por una antena montada en la vela de un molino de viento, que por lo tanto gira en el plano vertical y suministra una imagen en el espacio delante del plano de rotación.
- 30

- [0007]** En este sistema, la síntesis de SAR se produce usando la circunferencia entera, proporcionando información de acimut y elevación, pero con lóbulos secundarios marcados debido al muestreo en una línea cerrada, y por lo tanto puede usarse con fines de vigilancia, es decir, para la detección de objetos puntuales (aviones o barcos), pero no es adecuado para medir pequeños desplazamientos para monitorizar laderas o edificios.
- 35

- [0008]** A partir del documento US2010265117 se describe un sistema de imágenes que incluye una unidad de transmisión, una unidad de recepción, una disposición de antena con al menos una antena giratoria que forma sintéticamente una antena circular y acoplada a la unidad de transmisión y la unidad de recepción, una unidad de procesamiento de imágenes configurada para crear una imagen del objeto mediante el empleo de un algoritmo de imágenes de radar de apertura sintética y un sistema de control para controlar el funcionamiento del sistema.
- 40

- [0009]** Las soluciones conocidas presentan algunos inconvenientes significativos en el contexto de los sistemas para medir desplazamientos, en particular porque son capaces de detectar solamente el componente radial y no pueden proporcionar mapas de desplazamiento de adquisición única y mapas de elevación (los llamados "mapas digitales de elevación"- DEM) del campo de visión.
- 45

- [0010]** Además, los SAR de antena giratoria de un tipo conocido en la literatura suministran imágenes con lóbulos secundarios marcados, mientras que los SAR lineales pueden proporcionar imágenes sin lóbulos secundarios marcados, pero son lentos.
- 50

Objeto de la invención

- 55 **[0011]** Por lo tanto, el propósito de la presente invención es proponer un radar interferométrico equipado con una antena giratoria con una dirección de visión ortogonal al plano de rotación que esté libre de los inconvenientes mencionados anteriormente de los sistemas de un tipo conocido.

Resumen de la invención

- 60 **[0012]** Los propósitos anteriores y adicionales se logran con un radar interferométrico según una o más de las reivindicaciones anexas.

- [0013]** Una primera ventaja de la invención reside en el hecho de que el radar interferométrico propuesto es capaz de medir el vector de desplazamiento y no solamente el componente en la dirección de la vista.
- 65

[0014] Una segunda ventaja reside en el hecho de que el radar interferométrico de la invención puede obtener con una única adquisición: el mapa de los desplazamientos en los tres componentes y el mapa digital de elevación (DEM) del campo de visión.

[0015] Una ventaja adicional reside en el hecho de que el radar es rápido en comparación con las soluciones con geometría lineal en la medida en que la antena gira a una velocidad constante y no tiene que detenerse y regresar.

Lista de los dibujos

[0016] Cualquier persona experta en el sector comprenderá mejor las ventajas anteriores y otras adicionales a partir de la descripción siguiente y de los dibujos anexos, que se proporcionan a modo de ejemplo no limitativo y en los que:

- la Figura 1 es una vista esquemática de una antena de radar giratoria según la invención;
- la Figura 2 es una vista en corte transversal del radar según la invención; y
- la Figura 3 es una representación esquemática de la geometría de medición según la invención.

Descripción detallada

[0017] Con referencia a los dibujos adjuntos, se describe un radar R según la invención, que comprende una unidad de procesamiento y adquisición de datos 10, que recibe los datos detectados por al menos una antena 1, que gira en el plano zx ortogonal a la dirección de la vista y de la antena y se fija a un brazo 2 que puede ser puesto en rotación mediante un soporte accionado por motor 3.

[0018] En una primera realización, la antena 1 comprende una única antena 1 de polarización lineal, pero la antena 1 puede estar constituida de manera equivalente por dos antenas de polarización lineal (una para transmitir y otra para recibir).

[0019] En una realización adicional, la antena puede comprender una única antena de polarización circular o dos antenas de polarización circular (una para transmitir y otra para recibir). Además, de manera equivalente, la antena de polarización circular puede estar constituida por un sistema de antenas polarimétricas.

[0020] En funcionamiento, el elemento giratorio 2 se pone en rotación, y se obtiene una única imagen a través de un arco de rotación 4 (que típicamente tiene una amplitud de 180° para maximizar la apertura, pero también podría tener una amplitud diferente). Preferentemente, según la invención, a fin de obtener imágenes sin lóbulos laterales marcados, los datos de un arco 4 se segmentan en ventanas de intervalo cruzado con una ventana (por ejemplo, una ventana de Kaiser) ponderada en el segmento delimitado por el arco (por ejemplo, el diámetro en el caso de la Figura 2).

[0021] Con referencia a la Figura 3, el centro de fase 5 de la imagen interferométrica cae sobre la bisectriz (eje de simetría) del arco 4. Dado un objetivo 6 en el campo de visión, la unidad 10 del radar R es capaz de medir el componente del desplazamiento, en la dirección 7, del objetivo 6/centro de fase 5.

[0022] Gracias a esta solución, al procesar los datos de tres arcos con diferentes ángulos α , entendido como el ángulo formado por el eje z y por la bisectriz del arco considerado, y calcular los interferogramas con el mismo ángulo α , se obtienen los tres mapas de los tres componentes del desplazamiento, mientras que al procesar los datos de dos arcos con diferente ángulo α y calcular el interferograma entre las dos imágenes, se obtiene el mapa digital de elevación (DEM) del campo de visión.

[0023] En un ejemplo preferido de realización de la invención, el brazo 2 realiza una rotación completa, durante la cual la unidad 10 del radar R realiza adquisiciones a intervalos angulares constantes, en arcos que son lo suficientemente pequeños como para impedir cualquier ambigüedad angular.

[0024] Los datos así adquiridos se pueden procesar para crear una imagen, que está constituida por la síntesis SAR de los datos adquiridos en un arco 4 que tiene una amplitud apropiada.

[0025] Este arco puede tener un eje en cualquier dirección, y el centro de fase 5 de la imagen así obtenida cae sobre la bisectriz a una distancia que, en el caso de que no se utilice la segmentación en ventanas, es aproximadamente el 64% del radio; en el caso de que se use una ventana de Kaiser con $\beta = 5,48$, el centro de fase está a una distancia de aproximadamente el 89% del radio. Considerando dos imágenes (por ejemplo, la obtenida del semicírculo superior y la obtenida del semicírculo inferior) se obtienen dos componentes del vector de desplazamiento a lo largo del plano zy. Con una tercera imagen (cuyos puntos pueden superponerse a los de las otras dos) se obtiene el tercer componente. Además, al calcular el interferograma entre la imagen obtenida en el semicírculo superior y la imagen obtenida en el semicírculo inferior, se obtiene el mapa digital de elevación del campo de visión.

[0026] En ciertos casos, puede ser conveniente usar fracciones de arco más pequeñas que un semicírculo, en particular cuando los objetivos son objetos complejos que dan lugar a múltiples reflexiones. De hecho, las imágenes obtenidas con arcos más pequeños tienen una resolución más baja, pero también un paralaje más pequeño debido a
5 las posibles reflexiones múltiples.

REIVINDICACIONES

1. Un radar interferométrico, que comprende:
 - 5 un brazo (2), que gira con respecto a un eje (z) de un plano (zx) ortogonal a un eje de rotación (y);
un sistema con antena giratoria (1) con una dirección de visión ortogonal al plano de rotación de dicho brazo,
estando la antena fijada a dicho brazo (2) para describir revoluciones completas a lo largo de una trayectoria
circular (c) alrededor de dicho eje (y) y estando orientada en una dirección de la vista (a) paralela al eje (y);
medios accionados por motor (3) para accionar el brazo (2); y
 - 10 una unidad de procesamiento y adquisición de datos (10), conectada de forma operativa a dicha antena, que adquiere
una sucesión de imágenes detectadas por la antena durante su revolución alrededor del eje (y)
caracterizado porque dicha unidad de procesamiento y adquisición de datos (10) realiza cálculos interferométricos
diferenciales en al menos dos imágenes sucesivas de uno o más objetivos (6) ubicados en el campo de visión del
 - 15 sistema de antenas (1) a fin de medir al menos un componente del desplazamiento del mismo, en el que dicha unidad
(10) procesa los datos detectados a lo largo de dos arcos distintos de la trayectoria circular (c) y calcula los
interferogramas entre las imágenes adquiridas de un mismo arco a fin de obtener dos componentes de los
desplazamientos de uno o más objetivos (6).
 - 20 2. El radar según la reivindicación 1, en el que dicha unidad (10) procesa los datos detectados a lo largo
de tres arcos distintos de la trayectoria circular (c) y calcula los interferogramas entre imágenes sucesivas adquiridas
de un mismo arco a fin de obtener los tres componentes del desplazamiento en las direcciones (x, y, z) del objetivo
(6).
 - 25 3. El radar según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que dicha unidad (10) procesa los datos de
dos arcos (4) de la trayectoria (c) con un ángulo diferente (α), igual al ángulo formado por el eje (z) y por la bisectriz
del arco (4) considerado, y calcula el interferograma entre las dos imágenes, teniendo las imágenes un ángulo diferente
 α , a fin de obtener el mapa digital de elevación, DEM, del campo de visión.
 - 30 4. El radar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha unidad (10) hace una
segmentación en ventanas de dichos arcos (4) ponderados en el segmento delimitado por el arco.
 5. El radar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho sistema de antena giratoria
comprende una antena de polarización lineal.
 - 35 6. El radar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho sistema de antena giratoria
comprende una antena de polarización circular.
 7. Un procedimiento para monitorizar los desplazamientos de uno o más objetivos (6) por medio de un
 - 40 radar interferométrico, que comprende:
un brazo (2), que gira con respecto a un eje (z) de un plano (zx) ortogonal a un eje de rotación (y);
un sistema de antenas de polarización lineal (1), que se fija a dicho brazo (2) para describir revoluciones completas
a lo largo de una trayectoria circular (c) alrededor de dicho eje (y) y se orienta en una dirección de visión (a) paralela
45 al eje (y);
medios accionados por motor (3) para accionar el brazo (2); y
una unidad de procesamiento y adquisición de datos (10), que está conectada de forma operativa a dicha antena
(1) y adquiere una sucesión de imágenes detectadas por la antena durante su rotación alrededor del eje (y)
caracterizado porque dicha unidad de procesamiento y adquisición de datos (10) realiza los cálculos
50 interferométricos diferenciales en al menos dos imágenes sucesivas de uno o más objetivos (6) ubicados en el
campo de visión del sistema de antenas (1) a fin de medir al menos un componente del desplazamiento del mismo,
en el que dicha unidad (10) procesa los datos detectados a lo largo de dos arcos distintos de la trayectoria circular
(c) y calcula los interferogramas que corresponden a imágenes adquiridas de un mismo arco a fin de obtener dos
componentes del desplazamiento de uno o más objetivos (6).
 - 55 8. El procedimiento según la reivindicación 7, en el que dicha unidad (10) procesa los datos detectados a
lo largo de tres semicírculos distintos de la trayectoria circular (c) y calcula los interferogramas que corresponden a
imágenes adquiridas de un mismo arco a fin de obtener los tres componentes del desplazamiento en las direcciones
(x, y, z) de uno o más objetivos (6).
 - 60 9. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que dicha unidad (10) procesa los datos de dos arcos
de la trayectoria (c) con diferente ángulo (α) y calcula el interferograma entre las imágenes obtenidas de los dos arcos
a fin de obtener el mapa digital de elevación, DEM, del campo de visión.
 - 65 10. El procedimiento según la reivindicación 8 o la reivindicación 9, en el que dicha unidad (10) hace una

segmentación en ventanas de dichos arcos (4) ponderados en el segmento delimitado por el arco.

