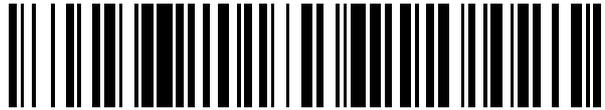


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 539 586**

51 Int. Cl.:

G01S 13/90 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.07.2010 E 10730163 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2015 EP 2452205**

54 Título: **Proceso para filtrar interferogramas obtenidos de imágenes SAR conseguidas en la misma área**

30 Prioridad:

08.07.2009 IT MI20091210

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

02.07.2015

73 Titular/es:

**TELE-RILEVAMENTO EUROPA - T.R.E. SRL
(50.0%)
Piazza Leonardo Da Vinci, 32
20133 Milano, IT y
POLITECNICO DI MILANO (50.0%)**

72 Inventor/es:

**FERRETTI, ALESSANDRO;
FUMAGALLI, ALFIO;
NOVALI, FABRIZIO;
DE ZAN, FRANCESCO;
RUCCI, ALESSIO y
TEBALDINI, STEFANO**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 539 586 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

Proceso para filtrar interferogramas obtenidos de imágenes SAR conseguidas en la misma área

5 La presente invención se refiere a un proceso para filtrar interferogramas obtenidos de imágenes SAR, conseguidas en la misma área.

10 Como es bien sabido, un radar de abertura sintética o sistema SAR produce una imagen bidimensional. Una dimensión de la imagen se denomina alcance y es una medida de la distancia en la línea de visión desde el radar al objeto que está iluminado. La otra dimensión se denomina azimuth y es perpendicular al "alcance".

15 Un radar tipo SAR opera a una frecuencia generalmente entre 400 Mhz y 10 Ghz y está usualmente instalado en aviones o en plataformas de satélites que orbitan a una altitud de entre 250 y 800 Km. La antena de radar está dirigida al terreno ortogonalmente a la dirección del movimiento de la plataforma (avión o satélite) con un ángulo fuera del nadir de entre 20 y 80 grados con relación a la dirección del nadir, esto es, perpendicular al terreno.

20 Con dicho sistema es posible obtener imágenes de la superficie de la tierra con una resolución espacial de unos pocos metros, sintetizando (de aquí el nombre del sensor), en la dirección del azimuth, una antena de unas dimensiones mucho mayores que las actuales mediante el uso de unos algoritmos apropiados bien conocidos en la bibliografía.

25 El documento "Interferometría SAR de paso repetido con objetivos parcialmente coherentes" de Daniel Pressin y otros, Actas sobre franjas 2007: 26-30 Noviembre 2007, ESRIN; Frascati, Italia (IN: ESA-SP), ESA, Agencia Espacial Europea, nº 649, página 7PP, XP007911824 explica un nuevo algoritmo de procesamiento de datos que permite extraer información de objetivos parcialmente coherentes mediante el uso de datos I SAR obtenidos desde vehículos espaciales. De este modo se pueden alcanzar unas muy altas densidades de puntos también en áreas extraurbanas para monitorizar fenómenos de deformación lineal superficial.

30 El documento "Movimiento desde PS hacia objetivos que se descorrelacionan lentamente: Una visión en perspectiva" EUSAR 2008: Actas de la 7ª Conferencia Europea sobre Radares de Abertura Sintética, 2-5 Junio 2008; Friedrichshafen Alemania, página 3PP, XP007911823 explica que el análisis de la matriz de covarianza procesada pixel por pixel daría como resultado un elemento necesario para el examen de la descorrelación del objetivo.

35 La característica más importante del SAR es que el sensor es del tipo coherente y de este modo las imágenes son matrices de números complejos en los que los valores de la amplitud están ligados a la potencia retrodispersada de los objetos iluminados (esto es, a su sección transversal del radar), en tanto que la fase se determina por la naturaleza del objetivo y su distancia desde el radar. Asociado con cada pixel de una imagen de radar, I , identificado por una cierta coordenada r del alcance y una coordenada a del azimuth, hay por lo tanto un número complejo:

40
$$I(r,a) = x+iy = A \cdot e^{i\psi}$$

45 en donde x e y identifican las partes real e imaginaria del número, A su amplitud y ψ el valor de fase, e i es la unidad imaginaria, o la raíz cuadrada de -1.

50 Dada la posibilidad de obtener imágenes independientemente de la luz solar y del estado de la cobertura de nubes, el tratamiento de las imágenes SAR se presta a una variedad de aplicaciones; entre las cuales son de una importancia primaria las aplicaciones ligadas a la identificación y clasificación de objetivos y a la detección de cambios y aplicaciones interferométricas. Las últimas están usualmente dirigidas a la obtención de modelos de elevación digitales y/o al análisis de las deformaciones superficiales del terreno sobre la base de conjuntos de datos SAR multitemporales.

55 Dadas dos imágenes SAR genéricas, identificadas como I_n e I_m , conseguidas en una misma área de interés y muestreadas de nuevo en una rejilla común, se define un interferograma Φ_{nm} como resultado de la multiplicación compleja de una imagen por el valor conjugado complejo de la segunda:

$$\Phi_{nm} = I_n \cdot \overset{*}{I}_m = A_n \cdot e^{i\psi_n} \cdot A_m \cdot e^{-i\psi_m} = A_n A_m e^{i(\psi_n - \psi_m)}$$

60 en donde $\overset{*}{I}$ indica la imagen en la que los valores complejos han sido transformados en los valores conjugados complejos cambiando el signo de los valores de fase. De este modo se observa que la fase del interferograma, también llamada fase interferométrica, está dada por la diferencia entre las fases de las dos imágenes.

La fase de cada pixel de una imagen SAR (identificada por una cierta coordenada r del alcance y una coordenada a del azimuth) puede ser vista como la suma de una contribución ξ vinculada a la naturaleza del objeto iluminado,

llamada "fase de reflexividad", y una contribución d vinculada al camino óptico de la onda electromagnética y de este modo a las características del medio de transmisión y a la distancia sensor-objetivo:

$$\psi(r,a) = \zeta(r,a) + d(r,a)$$

Si las características electromagnéticas del objeto permanecen sin cambios a lo largo del tiempo, no habrá variaciones en el término vinculado a la fase de reflexividad (ζ), de modo que cualesquiera variaciones de la fase que sean mostradas mediante la consideración de varias consecuciones estarán vinculadas a las posibles variaciones en el camino óptico.

De particular interés son las aplicaciones que llevan a la reconstrucción de una serie histórica de movimientos, es decir la capacidad de monitorizar, a lo largo del tiempo, cualesquiera movimientos de un objeto sobre el terreno cuya reflexividad permanezca sin cambios y en donde sea posible separar las contribuciones de fase debidas al medio de transmisión.

Operativamente, dada una serie de N imágenes SAR conseguidas en una misma área en momentos diferentes, pero muestreadas de nuevo en una rejilla común, se desea calcular, para cada pixel de la imagen, una serie histórica de N valores de fase (es decir, un valor para cada consecución efectuada en el área de interés), en la que aplicar unos algoritmos apropiados para estimar cualesquiera movimientos del objetivo del radar a lo largo de la dirección identificada por la línea de visión sensor-objetivo.

La calidad de la estimación depende en gran medida del hecho de que la fase de reflexividad de una cierta celda de resolución permanezca constante a lo largo del tiempo. Si se verifica esta hipótesis, mediante el cálculo de las diferencias de los valores de fase de las diferentes consecuciones con respecto, por ejemplo, a la primera imagen, es posible poner de manifiesto las contribuciones debidas solamente a variaciones en el camino óptico. Se debería tener en cuenta, por lo tanto, que solamente la diferencia entre los valores de fase de dos consecuciones proporciona información y no la fase de una única imagen, dado que los valores de fase de la reflexividad son desconocidos y varían de un pixel a otro; es por lo tanto la fase interferométrica la que permite que sea visualizado el mapa de cualesquiera deformaciones de la superficie.

Los valores de reflexividad de una escena de radar real no son usualmente constantes en todas las consecuciones disponibles, excepto para un limitado número de objetos, denominados dispersadores permanentes, en los que es posible aplicar unos algoritmos específicos (Patente Europea EP-1183551, Solicitud de Patente Italiana IT MI19991154, fechada el 27.11.2007).

No obstante, hay muchos otros pixeles de imágenes en los que la información relacionada con el camino óptico (es decir, la señal de interés) puede ser extraída solamente en algunos interferogramas o, hablando más generalmente, la relación señal-ruido varía significativamente según el par de imágenes consideradas. Esto significa que la hipótesis de invariancia del término fase de reflexividad (ζ) puede ser solamente satisfecha parcialmente.

Hay dos mecanismos principales que llevan a una variación en los valores de la fase de reflexividad: (a) la descorrelación temporal, es decir las variaciones en las características electromagnéticas de un objeto a lo largo del tiempo; (b) la descorrelación geométrica o espacial, provocada por las variaciones en la geometría de consecución. El primer mecanismo depende de la denominada "línea de base temporal" del interferograma, o, en el caso de un conjunto de imágenes conseguidas en momentos diferentes, de la distancia temporal entre las dos imágenes usadas para generar el interferograma. El segundo mecanismo depende en cambio de la denominada "línea de base geométrica", es decir de la distancia entre las trayectorias seguidas por el sensor durante las dos consecuciones.

Con el fin de medir la relación señal-ruido (es decir, la calidad) de los interferogramas generados a partir de las imágenes genéricas n y m , es una práctica común usar un parámetro conocido en la bibliografía por el nombre de coherencia interferométrica ρ_{nm} , o más simplemente coherencia, la cual varía, en general, de un pixel a otro:

$$\rho_{nm} = \frac{E(I_n \bullet I_m^*)}{\sqrt{E(I_n \bullet I_n^*) \bullet E(I_m \bullet I_m^*)}}$$

en donde $E(.)$ indica el operador estadístico conocido como "previsión". Operativamente, el operador de previsión es sustituido por un promedio espacial calculado en una ventana apropiada F centrada alrededor del pixel actual. Cuando se selecciona la ventana de estimación será necesario seleccionar, en la medida de lo posible, una población estadísticamente homogénea de muestras con el fin de obtener unas estimaciones estadísticas fiables y el número de píxeles usados en la estimación puede por lo tanto variar de un pixel a otro (solicitud de patente nº MI2009A000535 fechada el 3.4.2009).

La coherencia estimada (c_{nm}) se calcula por lo tanto como sigue:

$$c_{nm} = \gamma_{nm} \cdot e^{i\phi_{nm}} = \frac{\sum_{p \in F} x_n(p) x_m^*(p)}{\sqrt{\sum_{p \in F} |x_n(p)|^2 \sum_{p \in F} |x_m(p)|^2}}$$

5 en donde está indicado con γ_{nm} el módulo de coherencia estimado c_{nm} , con ϕ_{nm} su fase y con $x(p)$ el elemento p -ésimo de la ventana de estimación F . La coherencia así calculada es un número complejo que varía de un pixel a otro de la imagen, cuyo módulo, en virtud de la normalización, está comprendido entre 0 y 1 (respectivamente la correlación mínima y máxima, es decir una relación de señal-ruido nula o infinita) y cuya fase es el promedio de las fases del pixel usadas en la ventana de estimación.

10 Dadas N imágenes SAR muestreadas de nuevo en una rejilla común, la coherencia C_{nm} puede ser vista como un elemento de la matriz $N \times N$, denominada matriz de coherencia, la cual es capaz de describir, para cada pixel de la escena conseguida, la calidad interferométrica de todo el conjunto de imágenes SAR disponibles. Esto es, dado un conjunto de N imágenes SAR conseguidas en la misma área y para las cuales es posible el muestreo de nuevo de los datos en una rejilla común, con cada pixel es posible asociar una matriz de $N \times N$ elementos, en donde el elemento genérico c_{nm} es la estimación de la coherencia compleja entre las imágenes n y m del conjunto de imágenes disponibles.

20 Asociada con los denominados dispersadores permanentes hay una matriz de coherencia cuyos valores de módulos tenderán a ser constantes y próximos a uno, que indica la relación señal-ruido alta típica de este tipo de objetivo, la cual permanece alta para cada par interferométrico considerado. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, los dispersadores permanentes son solamente una minoría de los pixeles de una escena real. La gran mayoría de pixeles, que están influidos por fenómenos de descorrelación, están caracterizados por una matriz de coherencia cuyas amplitudes puede resultar que sean extremadamente variables. En otras palabras, la relación señal-ruido para el mismo pixel varía significativamente de una imagen a otra y de este modo de un interferograma a otro.

30 La extracción de una serie histórica con respecto a los caminos ópticos de un pixel genérico no es una operación particularmente difícil en el caso de dispersadores permanentes: para ellos es posible generar $N-1$ interferogramas en donde todos contienen una misma escena, por ejemplo la primera, y tienen una relación señal-ruido que es suficientemente alta para asegurar la aplicación de unos algoritmos sucesivos para estimar el movimiento del objetivo.

35 Consideremos a modo de ejemplo un conjunto de 5 imágenes SAR muestreadas de nuevo en una rejilla común y conseguidas en momentos diferentes ($t_1 \dots t_5$), que se intentan usar para reconstruir la serie histórica de los caminos ópticos de un pixel genérico, partiendo de t_1 , el momento de la primera consecución (Figura 1). Si el pixel seleccionado es un dispersador permanente, se avanzará simplemente hasta obtener los cuatro interferogramas (t_2, t_1), (t_3, t_1), (t_4, t_1) y (t_5, t_1), que permiten una estimación de los caminos ópticos del objetivo (asociado con el pixel actual) con respecto al momento de referencia t_1 (Figura 1, diagrama A). En general, cuando se desee crear una serie histórica de N elementos, el primer valor (que corresponde al momento t_1) se fijará igual a cero.

40 La situación es muy diferente en los casos en los que el pixel seleccionado no es un dispersador permanente y por lo tanto no muestra unos niveles aceptables de coherencia en uno o más de los interferogramas considerados en el párrafo anterior. Una primera solución podría ser avanzar mediante ensayo y error con el fin de encontrar unos pares interferométricos de buena calidad que permitieran la reconstrucción de la serie histórica completa de los valores del camino óptico y combinar los resultados obtenidos en los diversos interferogramas (los diagramas B y C en la Figura 1 muestran, a modo de ejemplo, dos configuraciones de $N-1$ interferogramas que son diferentes de la que se muestra en el diagrama A, pero que permiten obtener una serie histórica de N valores). No obstante, es razonable aceptar que tal operación será más eficiente si se basa en un análisis de la matriz de coherencia asociada con el pixel en cuestión, el cual, por construcción, da un cuadro sinóptico de todos los pares interferométricos posibles del conjunto de datos.

55 Se debería tener en cuenta en este punto que los elementos de una matriz de coherencia genérica no solamente permiten una estimación de las relaciones señal-ruido de los interferogramas aprovechando los módulos de los valores de la matriz, sino que también ofrecen, mediante el uso de los valores de fase, unas versiones filtradas de los valores de la fase interferométrica de cada posible par de imágenes. Como puede ser deducido de la definición de coherencia expuesta en los anteriores párrafos, la fase ϕ_{nm} de un elemento genérico de la matriz de coherencia está dada por un promedio espacial, calculado en una ventana de estimación apropiada F , de los valores de fase interferométricos: esta operación permite una reducción significativa del nivel de ruido, al menos en el caso de una población estadística homogénea caracterizada por el mismo valor del camino óptico y para un interferograma con una relación señal-ruido no nula. A pesar de que por una parte este proceso de promediación permite reducir los niveles de ruido, por otra parte significa que no se satisfará la relación de triangularidad:

$$\phi_{nm} \neq \langle (e^{i\phi_{kl}} e^{i\phi_m}) \rangle$$

5 esto es, en general, las fases no son coherentes (por ejemplo, ya no es verdad, como en el caso de reflectores permanentes, que ϕ_{21} y ϕ_{32} añadidos conjuntamente den ϕ_{31}). La reconstrucción de una serie histórica de N valores de fase, en donde la contribución debida a la fase de reflexividad está mejor compensada y por lo tanto la relación señal-ruido está maximizada, requiere por lo tanto el desarrollo de un algoritmo apropiado.

10 El problema puede por lo tanto ser resumido como sigue: dada la matriz de coherencia relativa a un pixel de imagen genérico, se desea deducir un vector de N valores de fase $\theta = \{\theta_1 \dots \theta_N\}$ que tiene en cuenta, de una forma adecuada, todos los datos disponibles, es decir los valores de fase filtrados asociados con todos los interferogramas posibles (en un número de $N(N-1)/2$) y su calidad. La presente invención propone un método para obtener este vector.

15 Con el fin de alcanzar este objetivo, el proceso de acuerdo con la presente invención propone los siguientes pasos:

- a) conseguir una serie de N imágenes de radar (A1...AN) por medio de un sensor SAR en una misma área con consecución de geometrías tales para permitir el muestreo de nuevo de los datos en una rejilla común;
- b) después de muestrear de nuevo en una rejilla común, se selecciona un pixel de la rejilla común;
- c) calcular la matriz de coherencia del pixel seleccionado, o sea estimando los valores de coherencia complejos de cada posible par de imágenes disponible;
- d) maximizar, con respecto al vector fuente θ , aquí un elemento desconocido, la función:

$$T = R \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N \gamma^k_{nm} \cdot e^{i\phi_{nm}} e^{-i(\theta_n - \theta_m)} \right\}$$

25 en donde R es el operador que extrae la parte real de un número complejo, γ_{nm} el módulo del elemento (n,m) de la matriz de coherencia, k un número real positivo, ϕ_{nm} la fase del elemento (n,m) de la matriz de coherencia, θ_n y θ_m los elementos n y m del vector desconocido θ .

30 Dado que solamente aparecen diferencias de fase en la función, los valores del vector desconocido serán estimados menos una constante aditiva, que puede ser fijada estableciendo, por ejemplo, $\theta_1 = 0$. Los valores de fase θ_n así obtenidos constituyen el vector de los valores de fase filtrados.

35 La elección del exponente k al cual elevar los módulos de coherencia depende de cómo se intente ponderar los valores de fase y de la posible polarización de los valores de coherencia estimados. Operativamente, se han obtenido unos buenos resultados fijándolo igual a 1 o 2. Es importante señalar que un punto de partida excelente para maximizar la función (independientemente del valor de k) es el vector de los valores de fase del autovector asociado con el autovalor dominante relativo a la matriz de coherencia.

40 Se debería tener en cuenta que la optimización propuesta, a pesar de estar basada en una función fuertemente no lineal, no requiere una inversión de la matriz de coherencia; éste es un valor de una importancia operativa considerable, dado que las matrices de coherencia están a menudo mal condicionadas. Se debería además tener en cuenta que la función propuesta es en realidad una suma ponderada, en la que los pesos están ligados a los módulos de la matriz de coherencia; de este modo se deseará hacer énfasis en los términos de fase caracterizados por una relación señal-ruido alta; el vector θ así obtenido tendrá unos elementos que deben respetar en un mayor grado las fases de los elementos de la matriz de coherencia caracterizados por unos altos valores de coherencia, esto es, unos valores mayores en cuanto al módulo.

45 Es importante tener en cuenta que una vez que el vector θ es conocido para cada pixel de la escena, será posible sustituir la fase del interferograma genérico entre la imagen $n^{\text{ésima}}$ y la imagen $m^{\text{ésima}}$ con la diferencia entre los vectores $\theta_n^{\text{ésimo}}$ y $\theta_m^{\text{ésimo}}$ calculados para los diversos pixeles de la imagen, que de este modo crean una versión filtrada del interferograma que, en realidad, tiene en cuenta el conjunto de datos total de las imágenes disponibles.

50 El mismo tipo de enfoque puede ser usado también para las estimaciones paramétricas vinculadas a los valores de fase; si se conoce a priori la tendencia esperada en tales valores (por ejemplo, una ley polinómica que es una función de la línea de base temporal y de la línea de base geométrica de los diversos interferogramas), dichos parámetros pueden ser estimados de nuevo mediante el uso de la función propuesta y ya no optimizando más los valores de fase t , sino directamente los parámetros desconocidos. Éste es el caso de cuando se desea estimar, por ejemplo, la velocidad media del movimiento y la elevación del objetivo del radar una vez que son conocidas la matriz de coherencia y las líneas de base temporal y geométrica de los diversos interferogramas.

60 Con el fin de mostrar qué resultados pueden ser obtenidos por medio de la presente invención, un conjunto de 85 imágenes SAR conseguidas por el satélite RADARSAT entre el 4 de Mayo de 1999 y el 5 de Enero de 2008

5 mientras volaba sobre la isla de Hawaii, en el archipiélago del mismo nombre, fueron sometidas a un procesamiento. Después de que las imágenes fueron colocadas sobre una rejilla común (Figura 2, la cual muestra gráficamente que N imágenes están disponibles en relación con el área de interés y que los píxeles homólogos en las diferentes
 10 consecuciones corresponden a la misma celda de resolución del terreno), el algoritmo asociado con la denominada técnica de dispersadores permanentes (patente EP-1183551) fue aplicada a estas imágenes con el fin de extraer una serie temporal del movimiento de los píxeles de la escena. El mismo procedimiento fue repetido a continuación con los datos obtenidos por la aplicación del proceso de la invención en las imágenes SAR originales (fijando $k=2$ en la función que había de ser optimizada), esto es, sustituyendo los valores de fase originales por los obtenidos a partir de los diversos vectores θ . Éstos fueron calculados, para cada pixel de la imagen, aguas abajo de la estimación de
 15 las matrices de coherencia estimadas como está descrito en la solicitud de patente MI2009A000535 fechada el 3.4.2009 y que usa un valor de 1 como el exponente k de la función T . A modo de ejemplo, los valores de la amplitud de una matriz de coherencia relativa a un pixel en el área de interés se muestran en la Figura 3 (se debería tener en cuenta que las dimensiones de la matriz corresponden al número $N=85$ de imágenes disponibles y que los valores van de 0 a 1). La Figura 4 muestra una comparación entre la serie histórica del movimiento asociado con un pixel en el caso en que los datos de partida sean los interferogramas no filtrados (serie histórica A) y en el caso en que los datos de partida sean los interferogramas reconstruidos por medio de los vectores fuente (serie B histórica baja). La reducción de ruido es evidente. El eje temporal de las medidas (en las que el tiempo está medido en días) se muestra a lo largo del eje x de los diagramas y los movimientos estimados del objeto sobre el terreno, que van de -30 a +30 mm, se muestran en el eje y.

20 Como un segundo ejemplo, solamente para facilitar la visualización de las figuras, se ha recortado un área de la escena procesada (resaltada en la Figura 5) con el fin de mostrar dos comparaciones directas entre los interferogramas originales y los reconstruidos por medio de los vectores de fase optimizados (Figuras 6 y 7, en las que se muestran los valores de fase de los interferogramas). En estos interferogramas, caracterizados por una línea de base espacial alta, algunas áreas están caracterizadas por unas relaciones señal-ruido bajas. En las figuras, la parte izquierda muestra los interferogramas originales y en la parte derecha es posible apreciar los mismos interferogramas reconstruidos según el proceso de la presente invención, y de este modo se sustituye la fase
 25 interferométrica original por la diferencia de fase de los elementos de los vectores θ . Operativamente, una vez que el vector θ fue obtenido para cada pixel de la escena, la fase de cada pixel del interferograma obtenida entre las imágenes n -ésima y la m -ésima fue sustituida por la diferencia de fase $\theta_n - \theta_m$ extraída del vector θ asociado con el pixel actual. El efecto es notable: cuando el ruido fue tal como para descartar la percepción de las franjas interferométricas, la técnica propuesta aquí dio como resultado una drástica reducción, facilitando de este modo que la señal de interés fuera claramente percibida.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para filtrar interferogramas obtenidos de imágenes SAR, conseguidas en la misma área por radares de apertura sintética, que comprende los siguientes pasos:

- a) conseguir una serie de N imágenes de radar (A1...AN) por medio de un sensor SAR en una misma área con la consecución de geometrías tales para permitir el muestreo de nuevo de los datos en una rejilla común;
- b) después de muestrear de nuevo en una rejilla común, seleccionar un pixel de la rejilla común;
- c) calcular la matriz de coherencia del pixel seleccionado, esto es estimar los valores de coherencia complejos de cada posible par de imágenes disponible;
- d) maximizar, con respecto al vector fuente θ , aquí un elemento desconocido, la función:

$$T = R \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N \gamma^{k_{nm}} \bullet e^{i\phi_{nm}} e^{-i(\theta_n - \theta_m)} \right\}$$

en donde R es el operador que extrae la parte real de un número complejo, γ_{nm} el módulo del elemento (n,m) de la matriz de coherencia, k un número real positivo, ϕ_{nm} la fase del elemento (n,m) de la matriz de coherencia, θ_n y θ_m los elementos n y m del vector desconocido θ , los valores del factor desconocido que se estiman excepto una constante aditiva y los valores de fase θ_n así obtenidos que constituyen el vector de los valores de fase filtrados.

2. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicha constante aditiva se fija estableciendo $\theta_1 = 0$.

3. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** cada elemento de la matriz de coherencia se evalúa por medio de la ecuación:

$$c_{nm} = \gamma_{nm} \bullet e^{i\phi_{nm}} = \frac{\sum_{p \in F} x_n(p) x_m^*(p)}{\sqrt{\sum_{p \in F} |x_n(p)|^2 \sum_{p \in F} |x_m(p)|^2}}$$

en donde está indicada con F una ventana de estimación apropiada alrededor del pixel seleccionado, x(p) el elemento p-ésimo de la ventana F de estimación, n y m las imágenes n-ésima y m-ésima que pertenecen al grupo de N imágenes SAR muestreadas de nuevo en una rejilla común.

4. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que los N elementos del vector fuente θ están ligados por una relación polinómica, asignable a la siguiente forma:

$$\theta_n = g(t_n, B_n)$$

en donde t_n es el momento de la consecución de la imagen n-ésima con respecto a la primera consecución, B_n la línea de base normal de la imagen n-ésima todavía con respecto a la primera consecución, siendo maximizada la función con respecto a los coeficientes del polinomio g.

5. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que los N elementos del vector fuente θ están ligados por una relación lineal, atribuible a la siguiente forma:

$$\theta_n = C_v \cdot v \cdot t_n + C_h \cdot h \cdot B_n$$

en donde C_v y C_h son unos parámetros conocidos que dependen de la geometría de consecución y del sensor utilizado, t_n el momento de la consecución de la imagen n-ésima con respecto a la primera consecución, B_n la línea de base normal de la imagen n-ésima todavía con respecto a la primera consecución, en el proceso de optimización, con también t_n y B_n conocidos, en donde se estiman solamente los valores v y h, vinculados respectivamente a la velocidad media de desplazamiento y a la elevación del objeto que ocupa el pixel seleccionado.

6. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** las N imágenes conseguidas por medio de un SAR se consiguen en momentos diferentes.

7. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** las N imágenes conseguidas por medio de un SAR se consiguen con unos ángulos de visión diferentes.

- 5 8. Un ordenador que comprende una memoria y un microprocesador adaptado para intercambiar datos con la memoria, y dicha memoria comprende un soporte lógico de la aplicación que está instalado en la memoria y que funciona, dicho soporte lógico es apropiado para poner en práctica el proceso para filtrar interferogramas conseguidos de imágenes SAR obtenidas en la misma área de acuerdo con cualquiera de las anteriores reivindicaciones.

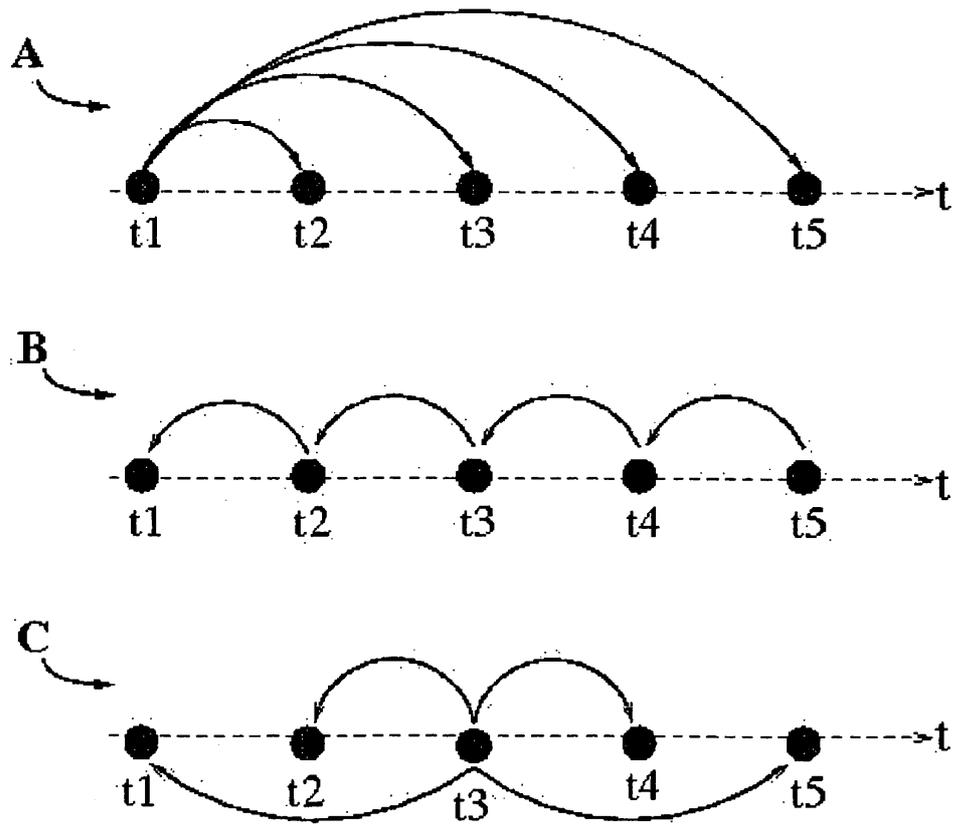


Fig. 1

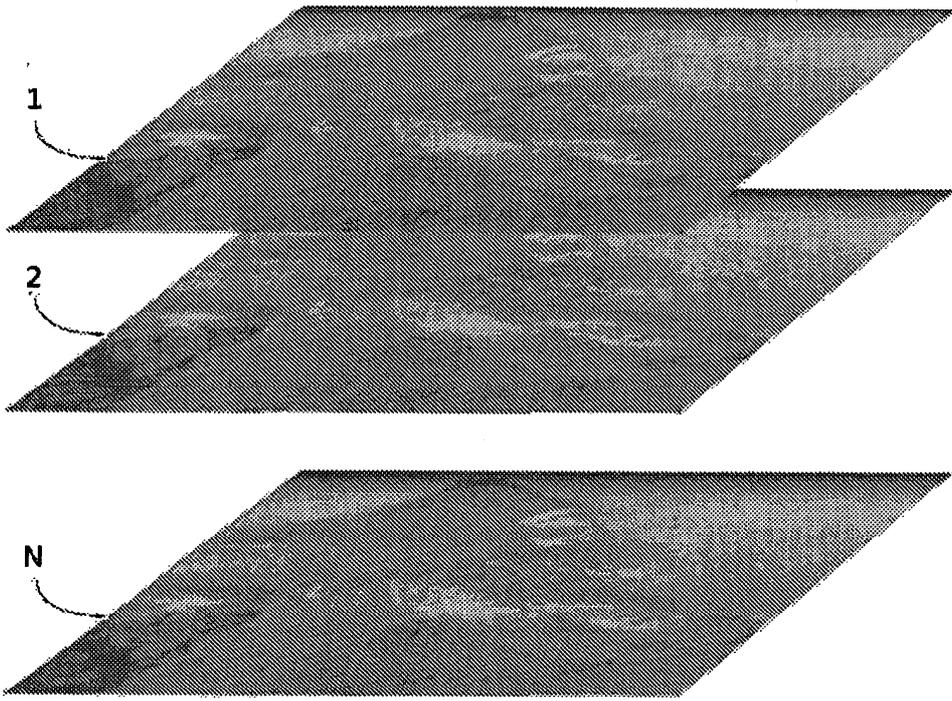


Fig. 2

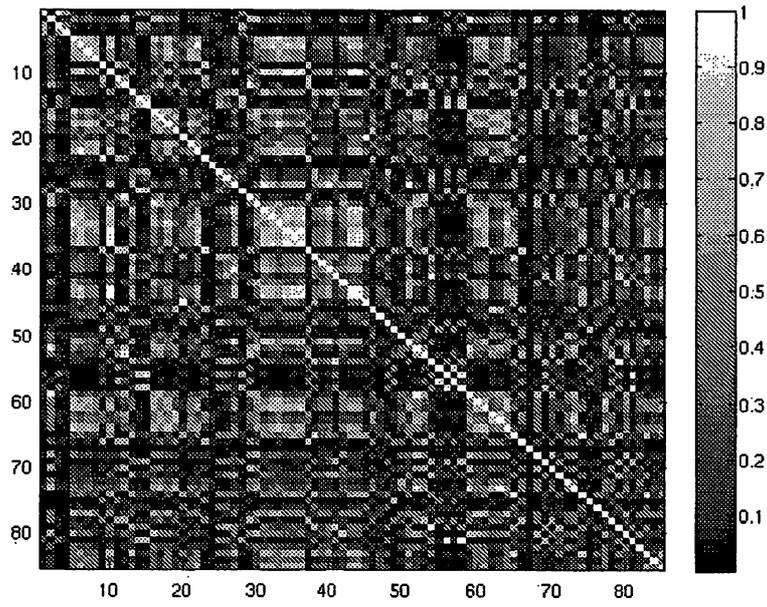


Fig. 3

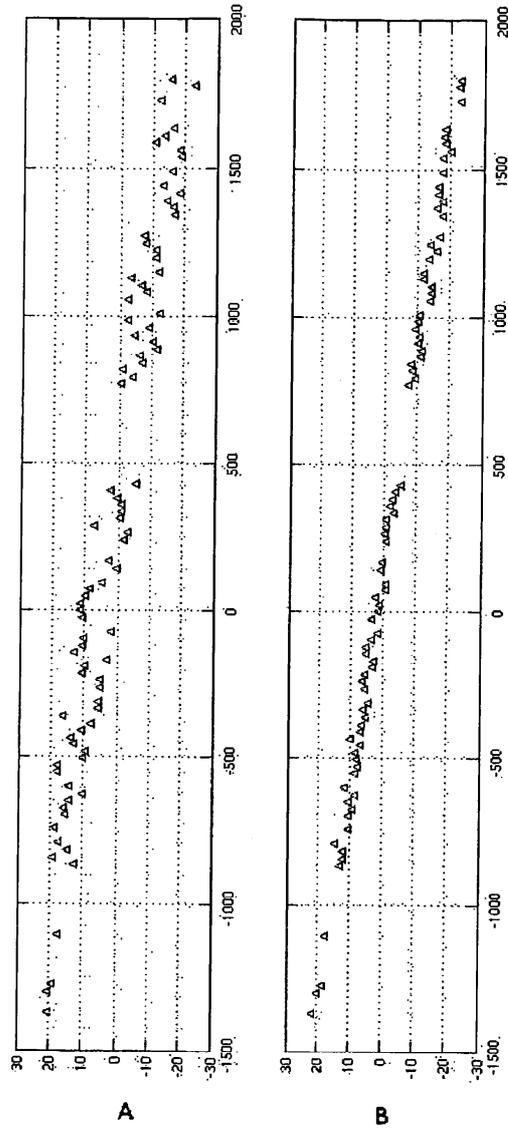


Fig. 4

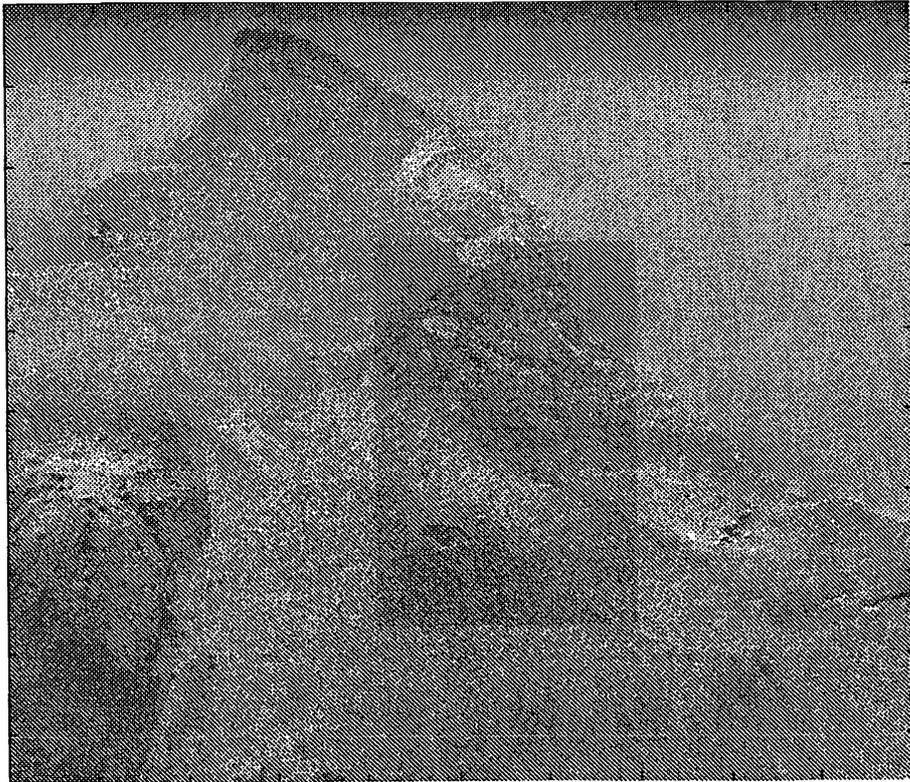


Fig. 5

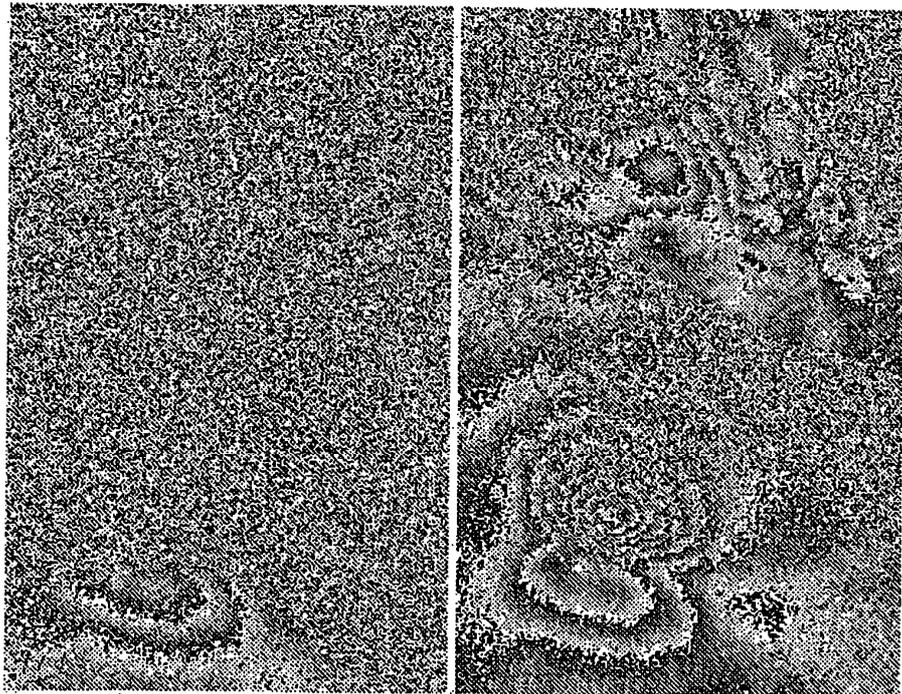


Fig. 6

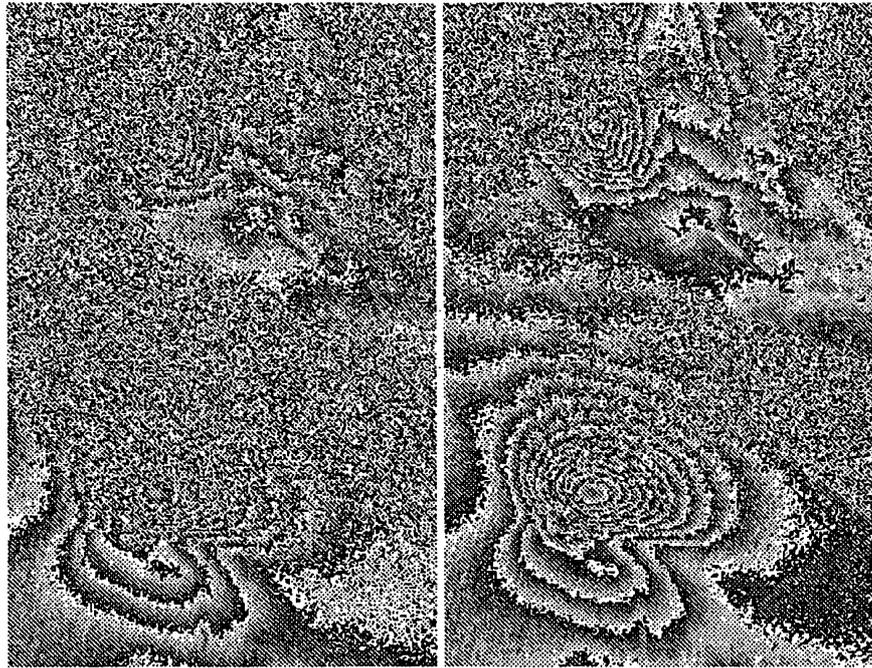


Fig. 7