

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 657 860**

51 Int. Cl.:

**G01S 3/48** (2006.01)

**G01S 13/90** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.03.2012 PCT/EP2012/053580**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.09.2012 WO12117080**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.03.2012 E 12708114 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.08.2017 EP 2681579**

54 Título: **Procedimiento de posicionamiento de un móvil en una imagen de radar**

30 Prioridad:

**03.03.2011 FR 1100645**

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

**07.03.2018**

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)  
45 rue de Villiers  
92200 Neuilly-sur-Seine, FR**

72 Inventor/es:

**BOSSER, LUC;  
HOTTEYER, VINCENT;  
LE FOLL, DIDIER y  
SFEZ, THIERRY**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 657 860 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

Procedimiento de posicionamiento de un móvil en una imagen de radar

La presente invención se refiere a un procedimiento de posicionamiento de un objetivo en móvil en una imagen de radar que presenta los niveles de reflectividad de los diferentes contribuidores (reflectores) que pertenecen a una zona de terreno iluminado por un haz de radar. La invención se aplica, en particular, a la producción de imágenes SAR-GMTI simultánea de alta resolución a partir de una aeronave equipada con una de radar.

En esta representación SAR-GMTI el "fondo de imagen" compuesto por reflectores fijos y se proporciona por una imagen SAR (Synthetic Aperture Radar) y en este fondo de imagen, la posición de cada uno de los reflectores móviles presentes que queremos detectar (que llamaremos objetivo en lo que sigue en la descripción por conveniencia) en la zona de interés se señala por un bloque, afectado por un vector de velocidad que corresponde al vector de velocidad del objetivo móvil en el momento de referencia seleccionado (generalmente el momento central de iluminancia). El posicionamiento de cada objetivo móvil se hace posible por el modo GMTI ("Ground Moving Target Indicator" en inglés).

A modo de recordatorio, la figura 1 ilustra una fase de adquisición de datos por un portador móvil en modo SAR "Spot", es decir, un modo en el que el haz de la antena se controla en permanencia en la zona de la imagen. Un radar fijado en una aeronave 101 ilumina una zona 102 de la imagen durante una duración de iluminancia  $T_e$  controlando el haz 103 de la antena en el centro 104 de dicha zona 102 a lo largo de la trayectoria 105 de la aeronave 101. Esta duración  $T_e$  es inversamente proporcional a la resolución contemplada que sigue el eje 106 transversal, la resolución que sigue el eje 108 radial siendo, en cuanto a ella, inversamente proporcional a la banda emitida por la antena de radar. La zona 102 de la imagen se engrana por una rejilla 110 de celdas para cada una de las cuales se busca asociar al menos un nivel de reflectividad.

Las detecciones del radar permiten crear una imagen que sigue el eje 108 radial y el eje 106 transversal, respectivamente designados en lo que sigue por los términos de eje "Distancia" 108 y eje "Doppler" 106. Esta imagen, calificada en lo que sigue como imagen "Distancia-Doppler", administra para cada celda  $M$  situada en el interior de la zona 102 de la imagen, un valor de distancia  $D_M$  y un valor de frecuencia Doppler  $f_M$ , estos dos valores  $D_M$  y  $f_M$  refiriéndose en relación con un momento dado  $t_{ref}$  correspondiente, por ejemplo, al flujo de la mitad de la duración total del flujo.

Describiendo un sector angular dado alrededor de la zona 102 de la imagen, el radar colecta periódicamente una serie de  $N$  perfiles en distancia con una frecuencia de recurrencia  $f_r$  igual a  $N/T_e$ . Cada uno de los  $N$  perfiles en distancia ofrecen una representación dimensional de la zona 102 de la imagen a lo largo del eje 108 de distancia. Además, el eje 108 de distancia se divide en varias casillas, cada una de dichas casillas tendiendo preferentemente un tamaño ligeramente inferior a la resolución en distancia. Para una casilla de distancia dada, un análisis espectral a lo largo del eje 106 transversal efectuado sobre la señal recopilada permite discriminar en Doppler los diferentes ecos contenidos en el interior de esta casilla. Este análisis espectral permite discriminar los ecos con la resolución deseada si ciertas condiciones son respetadas.

La dificultad de la generación de imagen SAR-GMTI controla, de hecho, que:

- En un modo SAR clásico (donde los reflectores fijos se posicionan en azimut según una medida de su frecuencia Doppler en un momento de referencia), los ecos móviles aparecen en una posición diferente de su posición real en la escena de la imagen: para estos ecos, la medida de la frecuencia Doppler ya no puede conectarse directamente a una posición en azimut. En efecto, la expresión de la frecuencia Doppler en el objetivo hace, no solo intervenir su azimut (o más exactamente su ángulo en relación con el vector de velocidad del portador), sino también la velocidad radial del objetivo, información desconocida, a priori. Además, el objetivo móvil se "desenfoca" significativamente: su energía se diluye en un gran número de casillas Doppler, incluso de casillas Distancia si el objetivo es ambiguo en Doppler. Por lo tanto, un objetivo móvil no se beneficia de la ganancia de compresión importante del tratamiento SAR (banda ancha emitida y duración de integración larga), lo que hace su detección delicada, especialmente si el Doppler (ambiguo) del objetivo pertenece al intervalo Doppler (ambiguo) cubierto por el conjunto de reflectores fijos iluminados por el haz. Se habla en este caso de objetivos "endo-clutter". Estos objetivos que corresponden a los objetivos lentos o a los objetivos rápidos cuya velocidad radial induce un desfase frecuencial en Doppler que corresponde a la frecuencia de recurrencia del modo SAR (cuyo valor define la ambigüedad Doppler).
- Un modo GMTI (Ground Moving Target Indicator) clásico permite detectar y localizar los objetivos móviles, pero no proporciona representación "resuelta en azimut" de la zona de terreno iluminado por el haz de radar. En efecto, los tiempos de integración son normalmente demasiado cortos para discriminar en azimut los reflectores fijos del suelo con una resolución satisfactoria.

Con el fin de reducir al máximo la dispersión espectral del "clutter de suelo" (señal retrodispersada por el conjunto de reflectores fijos del suelo iluminados por el haz de radar) y, por lo tanto, reducir el número de objetivos endo-clutter (cuya detección resulta problemática), las adquisiciones GMTI favorecen las geometrías de adquisición llamadas "en el eje": el vector de velocidad del portador y el vector de visualización que dirige el haz de radar son colineales.

Ahora bien, estas configuraciones son justamente configuraciones prohibidas para el SAR, puesto que prohíben cualquier discriminación en azimut de los reflectores fijos iluminados por el haz. Desde entonces, la solución clásica que consiste en la creación de imágenes de la zona de interés con un modo SAR (desreferenciado) para, seguidamente, superponer ahí las detecciones obtenidas de un modo GMTI que apuntan al eje posee un gran inconveniente: ella obliga al portador a efectuar un giro entre la adquisición SAR y la adquisición GMTI.

Por otra parte, la localización en azimut de objetivos móviles (efectuado por ecartometría angular) y la localización azimutal de los reflectores fijos (deducida por una medida de frecuencia Doppler convertida en ángulo en relación con el vector de velocidad del portador) adolecen de dos inclinaciones de diferentes orígenes:

Para los reflectores fijos, la precisión de localización está principalmente ligada a la precisión de medida en la dirección del vector de velocidad del portador (puesto que la localización angular de cada reflector fijo se referencia al final en relación con esta dirección).

Para los objetivos móviles, la inclinación en el posicionamiento en azimut se acumula principalmente, por una parte, una inclinación en la medida de ecartometría angular y, por otra parte, el error en la medida de la posición espacial de la antena (la medida ecartométrica proporciona un ángulo en un marco de referencia ligado a la antena. Después es necesario conocer las coordenadas de este marco de referencia "antena" en el espacio para estimar finalmente un azimut).

Por lo tanto, el posicionamiento final de los objetivos móviles en la imagen SAR añade estas diferentes inclinaciones de medida.

Se conoce de la técnica anterior, en particular, por la publicación de E. YADIN "Evaluation of noise and clutter induced relocation errors in SAR/MTI", un procedimiento para evaluar los errores de localización en un sistema de detección SAR/MTI que usa un interferómetro de dos vías.

También se conoce por la solicitud de patente europea EP 0 031 443 un dispositivo y un procedimiento de detección de un objetivo móvil.

La publicación de BUDILLON A y col., "moving target detection in along track SAR interferometry from in-phase and quadrature components data" enseña un procedimiento de detección de objetivos móviles que usan la parte real y la parte imaginaria de dos imágenes SAR.

El objetivo de la invención es resolver los problemas anteriormente citados.

Más particularmente, la invención se refiere a un procedimiento de posicionamiento de un objetivo móvil en una imagen de radar que representa los ecos de reflectividad de una zona iluminada por un haz de radar. Ventajosamente consta de al menos las siguientes etapas:

- una primera etapa de adquisición de dos imágenes de radar de manera simultánea, representando una imagen de radar el nivel de reflectividad de los reflectores posicionados en la zona iluminada en función de su distancia en relación con las vías de recepción y de su frecuencia Doppler, adquiriéndose la primera y la segunda imagen respectivamente en una primera y una segunda vía de recepción en azimut del radar. Además, la información de reflectividad asociada a cada uno de los reflectores presentes en la zona de la imagen, estas dos imágenes de radar también proporcionan una información de fase. Para un reflector dado y para una vía de recepción dada, esta fase se escribe  $2\pi/\lambda \times D_{A/R}$  (módulo  $2\pi$ ), donde  $D_{A/R}$  designa la distancia ida/vuelta recorrida por la onda electromagnética emitida/reflejada/recibida al nivel del centro de fase de la vía de recepción considerada ( $\lambda$  designa la longitud de onda de la onda electromagnética).
- una segunda etapa de cálculo, ejecutada sobre la base de la primera y de la segunda imagen de radar, de una tabla de correspondencia que relaciona para una distancia dada una medida de una diferencia de fase entre las dos vías de recepción con una posición en dichas imágenes de radar,
- una tercera etapa de suministro de un objetivo móvil presente en la primera y segunda imagen de radar y definido al menos por su distancia en relación con las vías de recepción y su frecuencia Doppler.
- una cuarta etapa de cálculo, ejecutada sobre la base de la primera y de la segunda imagen de radar, para el objetivo móvil, de la diferencia de fase entre la primera y la segunda imagen de radar y de la distancia en relación con las vías de recepción,
- una quinta etapa de posicionamiento del objetivo móvil en la imagen de radar en la posición del píxel definido, en la tabla de correspondencia, por la misma diferencia de fase y la misma distancia de reflector que dicho objetivo móvil.

Ventajosamente, la segunda etapa de cálculo consta de las siguientes subetapas:

- Cálculo de una primera imagen que representa una diferencia de fase medida entre la primera y segunda vía de recepción en función de los datos de distancia y Doppler de los reflectores,
- Cálculo de una segunda imagen que representa una diferencia de fase teórica a partir de la geometría de adquisición y de las características de las vías de recepción,
- Cálculo de una tercera imagen que representa el error residual de diferencia de fase entre dicha primera imagen y

dicha segunda imagen,

- Estimación paramétrica del error residual de diferencia de fase, mediante la entrega en fase de los ecos de los reflectores en esta tercera imagen.

Ventajosamente, la cuarta etapa de cálculo consta de las siguientes subetapas:

- 5
- Enfoque del objetivo móvil en la primera y la segunda imagen de radar,
  - Extracción de una ventana reducida en la primera y la segunda imagen de radar centrada en el objetivo móvil focalizado,
  - Medida de la diferencia de fase para el objetivo móvil sobre la base de las ventanas reducidas obtenidas de la primera y de la segunda imagen de radar.

- 10 Ventajosamente, en la tercera etapa, el objetivo móvil forma parte de una lista de objetivos móviles.

El procedimiento de posicionamiento de reflectores móviles según la invención permite obtener una imagen de radar de tipo SAR-GMTI por una adquisición única. En efecto, ya no es necesario que la plataforma móvil ejecute un cambio de trayectoria para realizar una primera adquisición en desreferenciada y después una segunda adquisición en el eje de desplazamiento de la plataforma.

- 15 Además, este procedimiento no se efectúa por la inclinación de las medidas que se encuentran clásicamente en las soluciones de la técnica anterior. Este procedimiento permite anular la inclinación en el posicionamiento relativo de los reflectores móviles y de los reflectores fijos. En otras palabras, el error de posicionamiento relativo de los objetivos móviles y de los reflectores fijos de la zona de la imagen se caracteriza por una media cero.

- 20 La invención se comprenderá mejor y otras ventajas aparecerán tras la lectura de la descripción que seguirá dada a título no limitante y gracias a las figuras siguientes:

la figura 1 representa una ilustración de una fase de adquisición de datos por un portador móvil (técnica anterior); la figura 2 es un esquema que representa medios de adquisición de las imágenes de radar para la implementación del procedimiento según la invención. En particular, se ilustran aquí las dos vías de recepción en azimut (vías A y B), así como la diferencia de trayecto  $\Delta R$  que existe entre estas dos vías si consideramos la señal retrodispersada por un reflector cuya dirección se caracteriza por un ángulo  $\theta$ .

- 25 La figura 3 es un esquema que representa las etapas del procedimiento de posicionamiento de un objetivo según la invención.

La invención se aplica a los portadores móviles de tipo aeronaves o satélites que embarcan un dispositivo de tipo radar para la vigilancia de una zona de interés.

- 30 La invención permite obtener una imagen sintética en la cual aparecen los móviles con su dirección de desplazamiento. Una tal imagen se obtiene a partir del procedimiento según la invención. En una imagen de radar que resulta del procedimiento según la invención, los objetivos móviles se han detectado y caracterizado previamente en función de su distancia en relación con la aeronave y su frecuencia Doppler. En esta imagen Distancia-Doppler de la zona de interés, la posición de cada uno de los objetivos móviles detectados se representa por un bloque de un color. El color del bloque proporciona una indicación en el signo del componente radial del vector de velocidad del objetivo (alejamiento o acercamiento). Una tal información se deduce directamente de la frecuencia Doppler y de la posición del objetivo. Por lo general, este tipo de información puede ayudar a determinar en qué vía de circulación se encuentra el objetivo detectado.

- 35 Finalmente, un tal modo proporciona una imagen SAR de la zona de interés, en la cual se superponen bloques asociados a los objetivos móviles. Estos bloques proporcionan las posiciones de los objetivos móviles presentes en la zona de la imagen, en un momento de referencia que corresponde (generalmente) al momento central de la adquisición.

- 40 Por lo general, la forma de onda utilizada es la de un modo SAR de resolución métrica que usa una frecuencia de recurrencia lo más alta posible, con el fin de ampliar al máximo el área de la zona clara en Doppler y de aumentar el ancho de la ambigüedad Doppler.

El procedimiento según la invención se implementa por medio de un dispositivo de radar junto con capacidades electrónicas y de tratamiento informático para una aplicación de formación de imágenes SAR (idealmente de resolución de clase métrica) y que consta como mínimo de dos vías de recepción en azimut.

- 45 Estas capacidades electrónicas y de tratamiento informático para una aplicación de formación de imágenes SAR pueden embarcarse en el portador o localizado en una estación alejada. En este último caso, el portador posee igualmente medios de transmisión de datos medidos hacia la estación alejada. En el caso de una aplicación para una aeronave como se ilustra en la figura 1, las dos vías de recepción pueden ser, por ejemplo, dos paneles de antenas colocados en una superficie del portador que se enfrenta a una dirección no colineal a la trayectoria del portador. Esto con el fin de discriminar en Doppler (y, por lo tanto, en azimut) los ecos fijados del suelo iluminados por el haz de radar y de estar, de esta manera, en medida de constituir una imagen SAR. El principio de la invención

se basa en el hecho de que si dos reflectores focalizados se sitúan en la misma distancia R de las vías de recepción (en el momento central de la iluminación) y presentan la misma diferencia de fase  $\Delta\phi$ , su posición es idéntica al momento central de la iluminación e, independientemente de su naturaleza (fija o móvil). La diferencia de fase de reflectores de la zona de interés puede calcularse por la medida de imágenes SAR en dos vías de recepción. A partir de la adquisición de dos imágenes SAR medidas simultáneamente en dos vías de recepción A y B del radar en una primera etapa, el procedimiento tal como se representa en la figura 3, tiene por objeto calcular, en una etapa siguiente 306, una tabla de correspondencia que pone en relación una distancia dada D con una medida de una diferencia de fase  $\Delta\phi$ , en otra etapa 302 ejecutada en paralelo o después de la etapa 306, calcular, para un objetivo, su diferencia de fase  $\Delta\phi$ , medida entre las dos vías de recepción A y B y la distancia D en relación con las vías de recepción A y B y, en una etapa 308 final, posicionar el objetivo en la imagen de radar en la posición del píxel definido, en la tabla de correspondencia, por la misma diferencia de fase y la misma distancia de reflector que el objetivo.

Más particularmente, el procedimiento consta de una primera etapa 300 de adquisición de dos imágenes de radar de manera simultánea, adquiriéndose la primera y la segunda imagen respectivamente en una primera y una segunda vía de recepción A y B en azimut del radar. El procedimiento puede constar de una repetición de adquisiciones de imágenes tomadas en posiciones diferentes de la trayectoria del portador. A partir de la adquisición de al menos un par de imágenes de una zona de interés, el procedimiento consta de varias etapas de tratamiento de imágenes con el objetivo de obtener informaciones relativas a los reflectores de las imágenes.

La figura 2 representa esquemáticamente las vías de recepción A y B del dispositivo de radar y las dos líneas que conectan un reflector M (colocado en una distancia mayor en relación con la separación que separa los dos centros de fases de las dos vías de recepción) a los dos centros de fase de las dos vías de recepción. Si se considera la señal retrodispersada por este reflector M, señal cuya dirección de llegada se caracteriza por un ángulo  $\theta$ , la diferencia de fase  $\Delta\phi$  entre las dos vías se deduce directamente de la diferencia del trayecto  $\Delta R$ :  $\Delta\phi = 2\pi/\lambda \Delta R$ . Cada imagen proporciona una representación Distancia-Doppler de la zona de interés, en la que se puede leer las siguientes informaciones para cada uno de los reflectores puntuales fijados de imagen. Todas estas cantidades se referencian temporalmente en relación con el momento central de la iluminación:

- Distancia Ida-Vuelta que corresponde a la distancia del centro de fase de la antena completa (vía de suma) al reflector, el reflector sumado con la distancia del reflector al centro de fase de la vía de recepción considerada (vía A o vía B). Se apuntan respectivamente las distancias  $R_A$  y  $R_B$  las distancias entre el reflector y los dos centros de fase de las dos vías de recepción A y B. R designa la distancia que separa este mismo reflector del centro de fase asociado a la vía de suma (transmisión en la antena completa). Para las resoluciones radiales utilizadas, la diferencia entre  $R_A$  y  $R_B$  es insignificante en relación con la resolución radial del modo SAR. Por lo tanto, el mismo reflector aparece a la misma distancia en las dos imágenes.
- Frecuencia Doppler del reflector (idéntica en las dos imágenes). En el caso de un reflector fijo, esta frecuencia Doppler se escribe  $\frac{2}{\lambda} \vec{v} \cdot \vec{U}$ . En esta expresión,  $\vec{v}$  designa el vector de velocidad del centro de fase de la antena y  $\vec{U}$  el vector unitario que señala hacia el reflector considerado ( $\lambda$  representa la longitud de onda del modo SAR). En el caso de un reflector fijo, las medidas de la frecuencia Doppler, de la distancia R, del vector  $\vec{v}$  y de la altitud relativa portador-reflector permite estimar el vector  $\vec{U}$ .
- Amplitud del reflector (idéntica en las dos imágenes).
- Fase asociada al reflector. Siguiendo la vía de recepción considerada, esta fase se escribe  $\frac{2\pi}{\lambda} (R + R_A)$  o  $\frac{2\pi}{\lambda} (R + R_B)$ . Esta diferencia de fase entre las dos vías de recepción es uno de los elementos esenciales operados por el procedimiento de la invención. En efecto, una medida de diferencia de fase  $\Delta\phi$  entre las dos vías permite también estimar el vector  $\vec{U}$  que señala hacia el reflector considerado (determinación del azimut), como se ilustra en la figura 2: Para los cálculos, se considera que L, la longitud que representa la separación entre los dos centros de fase asociados a las dos vías de recepción, es muy inferior a la distancia R. Según la geometría del dispositivo de radar de la figura 3, se tiene  $\Delta R = R_B - R_A = L \sin\theta$  y  $\Delta\phi = 2\pi/\lambda \Delta R = 2\pi L/\lambda \sin\theta$ .

A partir de las imágenes de radar obtenidas en la primera etapa 300, el procedimiento consta una etapa 301 de detección de un objetivo móvil o de una lista de objetivos móviles. En esta lista, cada uno de los objetivos móviles se define por:

- su distancia R con el centro de fase de la antena en el momento central de la iluminación.
- Su frecuencia Doppler no ambigua en el momento central de la iluminación. En el caso de un objetivo móvil, esta frecuencia Doppler se escribe  $\frac{2}{\lambda} (\vec{v} - \vec{v}_c) \cdot \vec{U}$ , donde  $\vec{v}_c$  designa el vector de velocidad del objetivo en el momento central de la iluminación. Contrariamente al caso del reflector fijo, el conocimiento de la frecuencia Doppler, de la distancia R, del vector de velocidad  $\vec{v}$  y de la latitud relativa portador-reflector ya no son suficientes para caracterizar de manera precisa el vector unitario  $\vec{U}$  que señala hacia el objetivo: no se dispone, de hecho, de ninguna información sobre el vector de velocidad  $\vec{v}_c$  del objetivo. En otras palabras, ahora es imposible relacionar de manera fiable una medida de frecuencia Doppler con una posición en azimut.
- Una ley de enfoque. Esta ley caracteriza la migración (en Distancia y en Doppler) del objetivo durante la iluminación o, al menos, durante una parte de la iluminación centrada en el momento de referencia (centro de la

iluminación). Más generalmente, se dispone de informaciones necesarias para poder obtener una representación "focalizada" del objetivo en el campo Distancia-Doppler (representación libre de cualquier migración residual en Distancia o en Doppler), en una duración de integración suficiente para garantizar una ganancia de compresión significativa: después de la corrección de migraciones Distancia y Doppler, la energía del objetivo puede, de esta manera, concentrarse en un número limitado de píxeles en el ámbito Distancia-Doppler.

Más particularmente, la etapa 301 del procedimiento de detección y de caracterización de un objetivo móvil en una imagen de radar comprende las siguientes subetapas:

una primera subetapa de eliminación de ecos fijos estacionarios de gran reflectividad medidos en la imagen de radar, en el caso en el que haya interés en los objetivos móviles llamados "endo-clutter", es decir, los objetivos móviles cuya frecuencia Doppler (ambigua) pertenece al intervalo Doppler (ambiguo) cubierto por los ecos fijos iluminados por el haz de radar.

Una segunda subetapa de reducción de la duración de integración por extracción de la parte de iluminación temporal central en la imagen de radar,  
una tercera subetapa de enfoque del eco del objetivo móvil por aplicación de una corrección de la migración de distancia y de la migración de Doppler del objetivo móvil en la imagen de radar, una cuarta subetapa de extracción del objetivo móvil de la imagen de radar,

Más particularmente, la primera subetapa de eliminación de los ecos fijos estacionarios comprende una disminución de la reflectividad de los ecos móviles que consiste en conservar, para cada uno de los píxeles de la imagen de radar, la reflectividad mínima en el conjunto de la repetición de adquisiciones de radar y de una detección de los ecos fijos por una operación de umbralización.

Más particularmente, en la tercera subetapa, la corrección de la migración de distancia de un objetivo se ejecuta comprobando varios rangos de ambigüedad posibles para el objetivo.

Más particularmente, en la tercera subetapa, la corrección de la migración Doppler de un objetivo se efectúa comprobando varias hipótesis de ley de fase cuadrática para compensar la fase residual que caracteriza la migración residual en Doppler del objetivo móvil, definiéndose el término cuadrático de esta fase por la siguiente fórmula:

$$\phi_{2,C}(t) = \frac{4\pi}{\lambda} \times \frac{\left(\vec{V} - \vec{V}_c\right)^2 - \left(\frac{\lambda \times f_d C}{2}\right)^2}{2R_c} \times t^2,$$

Donde:

- $\vec{V}$ : vector de velocidad del portador
- $C$ : posición del objetivo
- $\vec{V}_c$ : vector de velocidad del objetivo
- $R_c$ : distancia Portador-Objetivo:
- $f_d C$ : frecuencia Doppler del objetivo

Más particularmente, la tercera subetapa comprende un filtrado de los puntos desenfocados.

Más particularmente, la cuarta subetapa comprende una operación de umbralización de los píxeles de la imagen de radar.

Tras la etapa 301, el procedimiento consta de una etapa 302 principal de cálculo, para el objetivo caracterizado o cada objetivo caracterizado de la lista de objetivos móviles, por una parte, de la diferencia de fase medida entre la primera y la segunda imagen de radar A y B y, por otra parte, de la distancia R del o de los objetivos en relación con las vías de recepción.

La etapa 301 proporcionó una lista de objetivos detectados, donde cada uno de los objetivos se caracteriza por su distancia R y su frecuencia Doppler F en el momento central de la iluminación y una ley de enfoque en una duración T de integración dada, duración centrada en el momento central de la iluminación completa.

Para un objetivo dado, la medida de diferencia de fase  $\Delta\phi$  entre las dos vías de recepción A y B se efectúa a partir de las dos representaciones Distancia-Doppler enfocadas del objetivo, obtenidas en las dos vías de recepción A y B.

Para cada uno de los objetivos, en una subetapa 3021 y 3023 de la etapa 302, estas informaciones permiten obtener una representación Distancia-Doppler enfocada, es decir, una representación donde la energía del objetivo se concentra en un número restringido de píxeles centrados alrededor de la posición  $(R, f)$  en el plano Distancia-Doppler engranado con una resolución  $\delta R$  en distancia (resolución radial de la forma de onda) y una resolución igual a  $1/T$  en

Doppler.

5 Este enfoque en un número limitado de píxeles en el campo Distancia-Doppler permite aislar la señal asociada al objetivo de las señales emitidas por otros reflectores y beneficiarse de una ganancia de compresión importante (inversamente proporcional a la resolución radial y proporcional a la duración T de integración para un objetivo puntual), dicho de otra manera, de una relación Señal a Ruido ventajosa.

En estas dos representaciones, se extraen dos ventanas de análisis de tamaño reducido, para las imágenes que provienen de las imágenes A y B respectivamente en una subetapa 3022 y una subetapa 3024, alrededor de la posición (R,f), con el fin de aislar los píxeles en los que se concentra la energía del objetivo enfocado. Por lo general, la ventana de análisis contiene 3x3 píxeles o 5x5 píxeles.

10 Cabe señalar estas ventanas de análisis VentanavíaA(m,n) y VentanavíaB(m,n).

La diferencia de fase  $\Delta\phi$  se estima, en una subetapa 3025 de la etapa 302, calculando la fase del número complejo siguiente:

$$\sum_{m,n} ( \text{Ventanavía } A(m,n) \times \text{Conjugado} [ \text{Ventanavía } B(m,n) ] ).$$

15 Por lo tanto, se acuerdo un peso máximo a los píxeles donde se concentra la energía del objetivo. La calidad de esta medida de  $\Delta\phi$  se relaciona directamente con la relación Señal sobre Ruido de la que se beneficia el objetivo enfocado.

Tras esta operación, efectuada en cada uno de los objetivos detectados, en una etapa 303, se proporciona una lista de objetivos móviles donde los diferentes objetivos ahora se caracterizan por su distancia R y su diferencia de fase  $\Delta\phi$ .

20 Por otra parte, a partir de las imágenes de radar obtenidas en la primera etapa 300 en las dos vías de recepción A y B, el procedimiento consta de otra etapa 306 principal que consta igualmente de varias subetapas 3061, 3062, 3063, 3064. Esta etapa 306 tiene como función calcular, a partir de la primera y de la segunda imagen de radar proporcionadas respectivamente por una etapa 304 y 305, una tabla de correspondencia que relaciona para una distancia dada una medida de una diferencia de fase, calculada entre las imágenes obtenidas de las dos vías de recepción A y B, con una posición en dichas imágenes de radar, es decir, de las coordenadas de píxeles en la imagen de radar.

Esta tabla se presenta en forma de un tablero de Distancia-Doppler llamado Tablero  $\Delta\phi(m,n)$ , donde los índices m y n se asocian respectivamente al eje Doppler y al eje Distancia.

Más particularmente, se calcula de la siguiente manera:

30 Se señala respectivamente ImagevoieA(m,n) y ImagevoieB(m,n) las dos imágenes SAR Distancia-Doppler asociadas a las dos vías de recepción en azimut A y B.

la primera etapa 3061 de elaboración de la tabla de asignación consiste en calcular la imagen "Diferencia de fase medida". Esta imagen tiene como expresión:

$$\text{Imagen}\Delta\phi \text{ medido}(m,n) = \text{Imagenvía}A(m,n) \times \text{conjugado} [\text{Imagenvía} B(m,n)]$$

35 En esta nueva imagen Distancia-Doppler de la zona de interés, la fase asociada tiene un reflector focalizado posicionado en (m,n) se escribe ahora (cerca de ruido):  $\Delta\phi_{\text{medido}}(m,n) = 2\pi L/\lambda \text{sen}(\theta)$ .

$\theta$  designa aquí el ángulo entre el plano perpendicular a la línea que relaciona los dos centros de fase de las dos vías de recepción y el vector  $\vec{U}$  que apunta hacia el reflector considerado en el momento central de la iluminación.

40 En primera aproximación (despreciando el sitio de toma de imagen), este ángulo  $\theta$  puede asimilarse en el azimut del punto, en la adición de un contraste cercano.

Esta imagen Imagen  $\Delta\phi_{\text{medido}}(m,n)$  puede proporcionar de manera bruta una primera tabla de asignación imparcial, con las dos siguientes reservas importantes:

45 La medida de diferencia de fase  $\Delta\phi$  medida no tiene ningún significado en las zonas que no presentan ninguna coherencia de fase entre las dos vías de recepción. Este es típicamente el caso de las zonas poco reflectantes (agua, asfalto...) o de las zonas de sombra en la imagen SAR.

Esta medida adolece de un ruido y solo permite una asignación fiable para los reflectores fijos de gran reflectividad.

5 Por lo tanto, una segunda tabla 3062 de asignación se calcula de manera teórica, según la geometría de adquisición SAR y el conocimiento de las coordenadas del vector  $\overline{AB}$  que relaciona los dos centros de fases de las dos vías de recepción A y B en el momento central de la iluminación. Para un reflector posicionado en (m,n) que corresponde a un par Doppler-Distancia dado, se estima en un primer momento el vector  $\vec{U}$  como en una operación de cumplimiento de conformidad convencional.

El valor  $\Delta\phi_{\text{teórico}}(m,n)$  se escribe entonces:  $2\pi \frac{AB}{L} \cdot \vec{U}$

Esta segunda tabla de asignación calculada en la etapa 3062 proporciona un valor  $\Delta\phi_{\text{teórico}}(m,n)$  sin ruido y con un grado de fiabilidad idéntico en toda el área de la imagen. Por desgracia, conduce a una asignación inclinada (debido, entre otros, a errores cometidos para caracterizar el vector  $\overline{AB}$ ).

10 Por lo tanto, la etapa 3064 final de la etapa 306 consiste en usar estas dos primeras tablas para construir una nueva tabla que proporciona una diferencia de fase  $\Delta\phi(m,n)$  sin ruido, fiable en el conjunto de la zona de la imagen y que aproxima mejor a las zonas altamente reflectantes los valores proporcionados por la imagen  $\Delta\phi_{\text{medido}}(m,n)$ , con el fin de conceder una estimación final imparcial.

15 Para esto, se calcula una etapa 3063 intermediaria de la imagen "Error residual de  $\Delta\phi$ ", imagen que caracteriza a las diferencias residuales de fase entre los valores proporcionados por las dos tablas.

Esta imagen se escribe:

$$\text{Imagen } \Delta\phi_{\epsilon}(m,n) = \text{Imagen } \Delta\phi_{\text{medido}}(m,n) \times \text{Conjugado}[\text{Imagen } \Delta\phi_{\text{teórico}}(m,n)],$$

con  $\text{Imagen } \Delta\phi_{\text{teórico}}(m,n) = \exp[j\Delta\phi_{\text{teórico}}(m,n)]$ .  
"exp" designa aquí la función exponencial compleja.

20 Una tal imagen Distancia-Doppler presenta la siguiente ventaja:

En las zonas de la imagen que presentan una alta coherencia de fase entre las dos vías de recepción, la diferencia de fase residual puede caracterizarse por un número muy limitado de parámetros: por lo general, esta diferencia de fase puede modelarse de manera eficaz por una función afín en Doppler y afín en Distancia. Sin embargo, nada impide modelar esta diferencia residual de fase con un número mayor de parámetros.

25 Esta reducción del número de parámetros que se estimará se hace posible gracias al uso de la tabla de asignación "teórica" ( $\Delta\phi_{\text{teórico}}(m,n)$ ), que permite estimar con antelación de manera pertinente los términos de órdenes superiores o iguales a dos en la expresión de la diferencia de fase  $\Delta\phi(m,n)$  en función del Doppler y de la Distancia.

30 Si se modela la diferencia residual de fase  $\Delta\phi_{\epsilon}(m,n)$  por una función afín en Doppler y afín en Distancia, los parámetros que faltan pueden, por ejemplo, estimarse buscando el par ( $\text{pendiente}_f, \text{pendiente}_D$ ) que maximiza la norma del número complejo siguiente:

$$Z(\text{pendiente}_f, \text{pendiente}_D) = \sum_{m,n} [\text{Imagen } \Delta\phi_{\epsilon}(m,n) \times \exp(j(\text{pendiente}_f \times m + \text{pendiente}_D \times n))] ]$$

En otras palabras, se busca aquí volver a poner en fase el conjunto de los ecos de la imagen  $\text{Imagen } \Delta\phi_{\epsilon}(m,n)$  acordando un peso máximo a los ecos altamente reflectantes.

35 Desde entonces, la siguiente imagen, llamada  $\widehat{\Delta\phi}_{\epsilon}(m,n)$ , presenta una coherencia de fase máxima con la imagen  $\text{Imagen } \Delta\phi_{\epsilon}(m,n)$  en las zonas de la imagen SAR compuestas de reflectores fijos altamente reflectantes:

$$\text{Imagen } \widehat{\Delta\phi}_{\epsilon}(m,n) = \frac{\hat{Z}}{\|\hat{Z}\|} \exp\left(-j\left(\hat{\text{pendiente}}_f \times m + \hat{\text{pendiente}}_D \times n\right)\right)$$

con  $\hat{Z} = Z(\widehat{\text{pendiente}}_f, \widehat{\text{pendiente}}_D)$

Al final de esta última etapa 3064, la tabla de asignación buscada Tableau $\Delta\varphi(m,n)$  se deduce directamente de la imagen Distancia-Doppler siguiente:

$$\text{Imagen } \Delta\varphi(m,n) = \text{Imagen } \Delta\varphi \text{ teórico } (m,n) \times \text{Imagen } \Delta\varphi_{\varepsilon}(m,n).$$

- 5 Se dispone así al final de una Tabla de asignación que tiene la ventaja de ser imparcial, sin ruido y fiable en el conjunto de la zona de la imagen.

Finalmente, el procedimiento según la invención consta de una tercera etapa 308 principal de posicionamiento del objetivo en la imagen de radar en la posición del píxel definido, en la tabla de correspondencia, por la misma diferencia de fase y la misma distancia de reflector que el objetivo.

- 10 En este estado, se dispone en una etapa 303 intermedia de una lista de objetivos móviles caracterizado cada uno por un par (Distancia R, diferencia de fase  $\Delta\varphi$ ) y otra etapa 307 intermedia de una tabla de asignación, que relaciona un par (Distancia R, diferencia de fase  $\Delta\varphi$ ) y una posición en la imagen SAR Distancia-Doppler de la zona de la imagen (índice de píxel (m,n)).

- 15 El posicionamiento final de un objetivo en la imagen SAR no se hace, por lo tanto, simplemente buscando en la Tabla de asignación la posición del píxel asociado al par (Distancia R, diferencia de fase  $\Delta\varphi$ ) que caracteriza el objetivo.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de posicionamiento de un objetivo móvil en una imagen de radar que representa los ecos de reflectividad de una zona iluminada por un haz de radar, estando dicho radar instalado en un portador móvil, comprendiendo dicho procedimiento al menos las siguientes etapas:

- 5           - una primera etapa (300) de adquisición de dos imágenes de radar de manera simultánea, representando una imagen de radar el nivel de reflectividad y la fase de los reflectores posicionados en la zona iluminada en función de su distancia en relación con las vías de recepción y de su frecuencia Doppler, adquiriéndose la primera y la segunda imágenes de radar respectivamente en una primera (A) y una segunda vía (B) de recepción en azimut del radar,
- 10          - una segunda etapa (306) de cálculo, ejecutada sobre la base de la primera y de la segunda imágenes de radar, de una tabla de correspondencia que relaciona para una distancia dada una medida de una diferencia de fase entre las dos vías de recepción con una posición en dichas imágenes de radar,
- una tercera etapa (301) de suministro de un objetivo móvil presente en la primera y segunda imágenes de radar y definido al menos por su distancia en relación con las vías de recepción y su frecuencia Doppler.
- 15          - una cuarta etapa (302) de cálculo, ejecutada sobre la base de la primera y de la segunda imágenes de radar, para el objetivo móvil, de la diferencia de fase entre la primera y la segunda imágenes de radar y de la distancia en relación con las vías de recepción,
- una quinta etapa (308) de posicionamiento del objetivo móvil en la imagen de radar en la posición del píxel definido, en la tabla de correspondencia, por la misma diferencia de fase y la misma distancia de reflector que
- 20          dicho objetivo móvil,

**caracterizado porque** dicha segunda etapa (306) de cálculo comprende las siguientes subetapas:

- Cálculo (3061) de una primera imagen que representa una diferencia de fase medida entre la primera y segunda vías de recepción en función de los datos de distancia y Doppler des los reflectores,
- 25          - Cálculo (3062) de una segunda imagen que representa una diferencia de fase teórica a partir de la geometría de adquisición y de las características de las vías de recepción,
- Cálculo (3063) de una tercera imagen que representa el erro residual de diferencia de fase entre dicha primera imagen y dicha segunda imagen,
- Estimación paramétrica del error residual de diferencia de fase, mediante la entrega (3064) en fase de los ecos de los reflectores en esta tercera imagen.

30          2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la cuarta etapa (302) de cálculo comprende las siguientes subetapas:

- Focalización (3021; 3023) del objetivo móvil en la primera y la segunda imagen de radar,
- Extracción (3022; 3024) de una ventana reducida en la primera y la segunda imágenes de radar centrada en el objetivo móvil focalizado,
- 35          - Medida (3025) de la diferencia de fase para el objetivo móvil sobre la base de las ventanas reducidas obtenidas de la primera y de la segunda imágenes de radar.

3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** en la tercera etapa (301), el objetivo móvil forma parte de una lista de objetivos móviles.

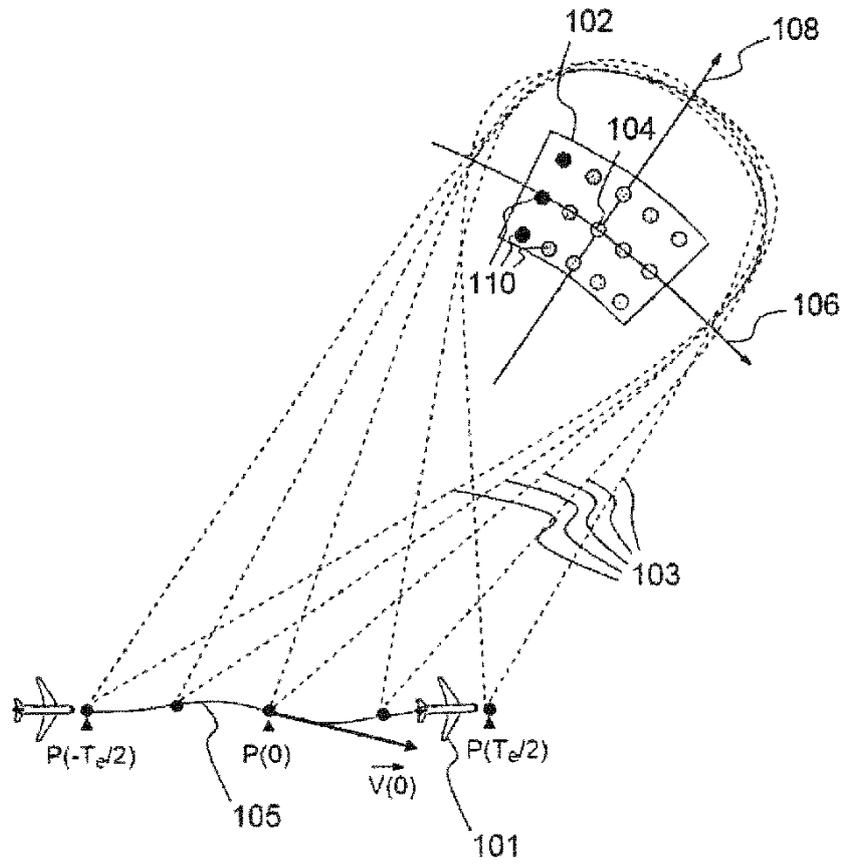


FIG.1

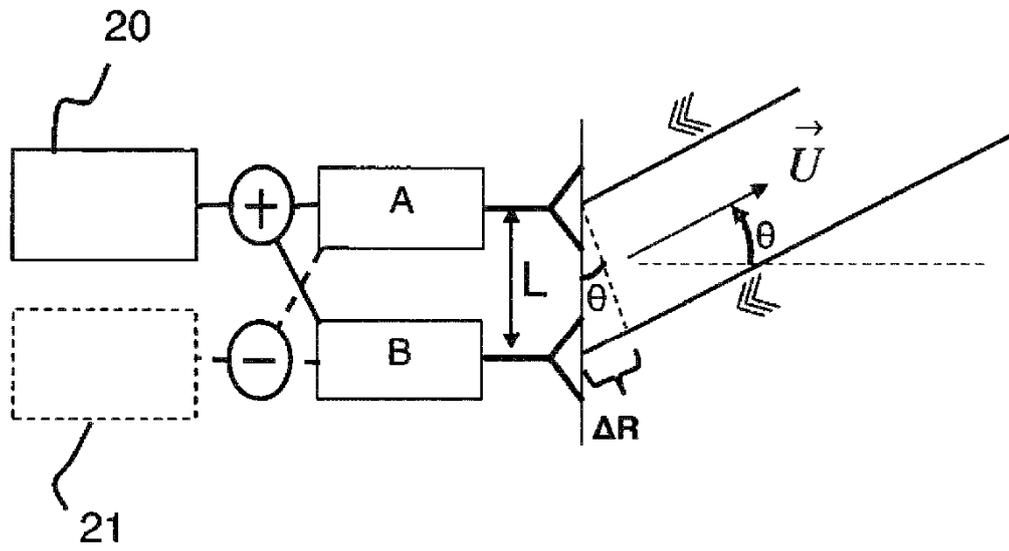


FIG.2

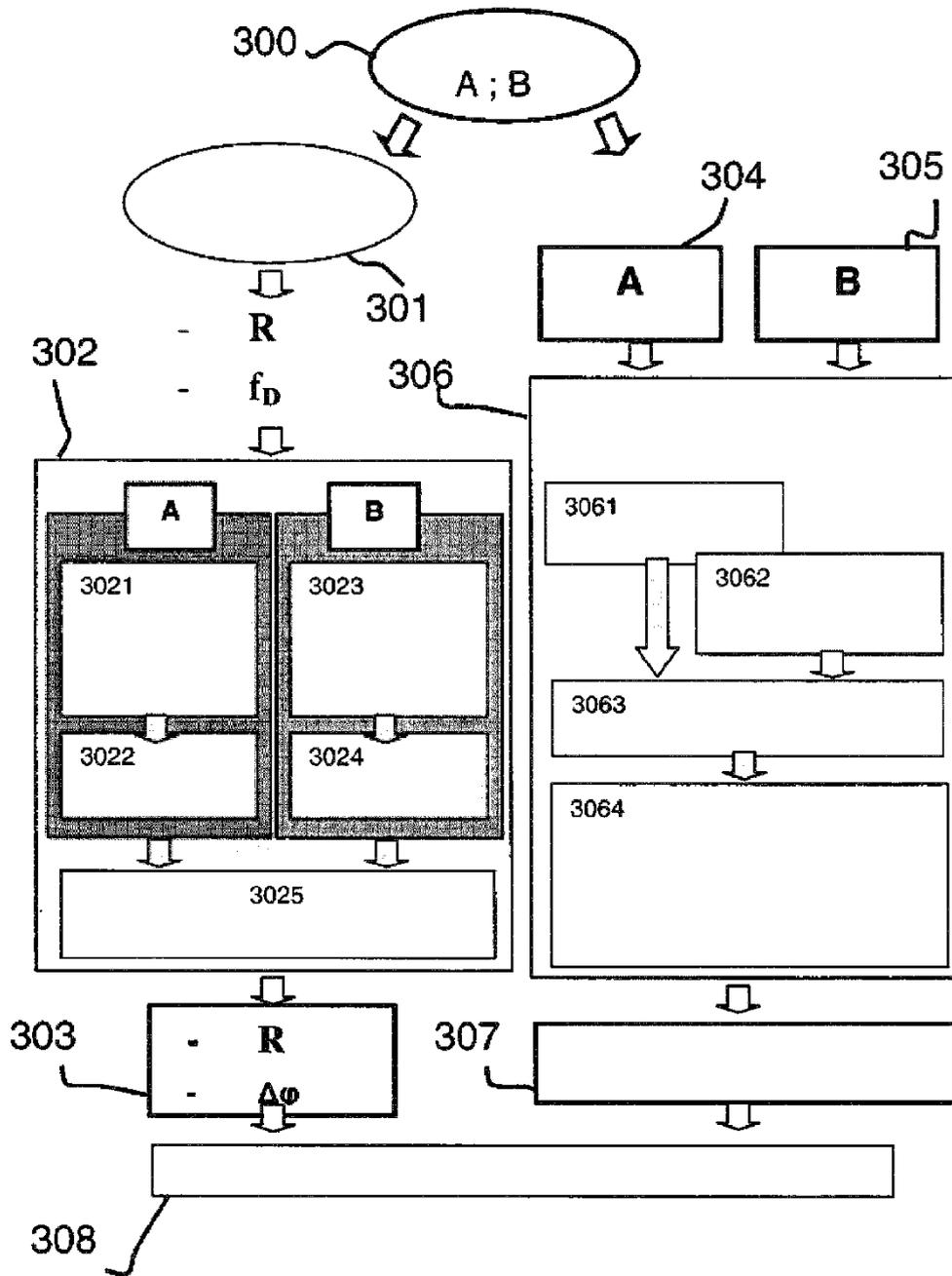


FIG.3