

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 519 469**

51 Int. Cl.:

**G01S 7/41** (2006.01)

**G01S 13/90** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.05.2008 E 08789968 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.08.2014 EP 2283380**

54 Título: **Detección de un objetivo en una zona marítima representada mediante una imagen de SAR**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.11.2014**

73 Titular/es:

**TELESPAZIO S.P.A. (100.0%)**  
**Via Tiburtina 965**  
**Roma, IT**

72 Inventor/es:

**EUSEBI BORZELLI, GIAN LUCA;**  
**IOANNONE, ALISSA y**  
**COSTANTINI, MARIO**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

**ES 2 519 469 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**

Detección de un objetivo en una zona marítima representada mediante una imagen de SAR.

**5 CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere a la detección de un objetivo en una zona marítima representada mediante una imagen de radar de apertura sintética.

**10 TÉCNICA ANTECEDENTE**

Tal como es sabido, la teledetección es la ciencia y la técnica de obtener información sobre un objeto, zona o fenómeno a través del análisis de datos adquiridos por un dispositivo que no está en contacto con el objeto, zona o fenómenos en investigación. En base a la longitud de onda en la que funciona el sistema, la teledetección se clasifica principalmente en dos grupos diferentes, es decir, óptica y por microondas.

La teledetección óptica usa ondas visibles e infrarrojas mientras que la teledetección por microondas usa ondas de radio.

Como sistema de teledetección por microondas, un sistema de radar de apertura sintética (SAR) comprende un emisor de señales de radar y un receptor de señales de radar que operan sobre una plataforma móvil, tal como un aeroplano o satélite, y una estación de teleprocesamiento conectada por un canal de radio a la plataforma móvil.

El emisor envía una señal de radar a una zona terrestre o marítima monitorizada, y el receptor recibe el eco de radar retrodispersado por la zona, y lo transmite a la estación de teleprocesamiento, que procesa el eco de radar para obtener un mapa bidimensional de la zona monitorizada. La señal de radar transmitida comprende una sucesión de pulsos electromagnéticos de banda de microondas modulados mediante frecuencia lineal, o llamada modulación CHIRP, y transmitidos a intervalos de tiempo regulares.

La estación de procesamiento combina de forma coherente los ecos de radar correspondientes con los pulsos transmitidos para obtener mapas de alta resolución azimutal de zonas extensas. La modulación de pulsos CHIRP, por otro lado, permite alcanzar alta resolución perpendicular a la dirección la dirección de distancia.

En detalle, un sistema SAR ilumina una escena con microondas por medio del emisor, y registra tanto la amplitud como la fase de la radiación retrodispersada por medio del receptor, convirtiéndolo en un proceso de obtención de imágenes coherente. La señal recibida es muestreada y convertida en una imagen digital por la estación de procesamiento.

En particular, el campo registrado en el píxel  $x$ , indicado como  $E(x)$ , puede escribirse como

40

$$E(x) = \sum a(s) e^{i\phi(s)}$$

donde las distancias de suma sobre los dispersores  $s$ ,  $a(s)$  y  $\phi(s)$  son respectivamente amplitud y fase de la señal recibida desde el dispersor  $s$ , y  $h(s,x)$  es la función instrumental o de dispersión puntual. El valor de  $h(s,x)$  está próximo a 1 cuando el dispersor  $s$  está en o cerca de la célula de resolución correspondiente al píxel  $x$ , y próximo a cero en caso contrario. Suponiendo que la función instrumental es invariante por traslaciones, es decir, no depende de  $x$ , entonces puede escribirse como una función de un parámetro  $h(s-x)$ .

El cuadrado del módulo del campo  $E(x)$  se denomina intensidad detectada  $I(x)$ ; la raíz cuadrada de la intensidad  $I(x)$  se denomina envuelta o amplitud. Ésta no es la misma que la amplitud de la señal recibida  $a(s)$  dado que el campo recibido  $E(x)$  está perturbado por la función instrumental  $h(s, x)$ . La amplitud de la señal recibida  $a(s)$  se denomina reflectividad, y su cuadrado se denomina sección transversal superficial.

En comparación con la teledetección óptica, la obtención de imágenes de SAR presenta algunas ventajas. En primer lugar, como sistema activo, es un sistema de adquisición de datos diurnos/nocturnos. En segundo lugar, considerando el comportamiento de las ondas electromagnéticas en el intervalo de longitudes de onda usadas por sistemas SAR, puede verse que las características atmosféricas tales como nubosidad, lluvia suave, niebla y humo tienen poco efecto sobre la capacidad de un sistema SAR. Esto convierte al SAR en un sistema de teledetección

55

para todo tipo de condiciones meteorológicas. Por último pero no menos importante, dado que las señales de SAR penetran parcialmente en el suelo y la cubierta vegetal, además de información superficial, puede proporcionar también información subsuperficial.

5 Desafortunadamente, en comparación con la teledetección óptica, la obtención de imágenes de SAR presenta también algunas desventajas. En particular, a diferencia de las imágenes ópticas, las imágenes de SAR se forman mediante interacción coherente de la microonda transmitida con los objetivos. Por lo tanto, la obtención de imágenes de SAR padece los efectos de ruido Speckle (punteado) que surge de la suma coherente de las señales retrodispersadas por dispersores a nivel del suelo s distribuidos aleatoriamente con cada píxel x. Por lo tanto, una  
10 imagen de SAR aparece más ruidosa que una imagen óptica.

Más en detalle, las ondas emitidas por el emisor se desplazan en fase e interactúan mínimamente en su camino a la zona objetivo. Después de la interacción con la zona objetivo, estas ondas ya no están en fase debido a las diferentes distancias que se desplazan desde los objetivos, o dispersión de única frente a múltiples rebotes. Una vez  
15 fuera de fase, las ondas retrodispersadas pueden interactuar para producir píxeles luminosos y oscuros. Este efecto se conoce como ruido Speckle.

El ruido Speckle da una apariencia granular a las imágenes de SAR, reduce el contraste de las imágenes de SAR, y tiene un efecto negativo sobre el análisis basado en la textura. Además, dado que el ruido Speckle cambia las estadísticas espaciales de las imágenes de SAR, convierte al proceso de clasificación en una tarea difícil de realizar.  
20

La figura 1 muestra un ejemplo de una imagen de SAR granular típica.

Por esta razón, el ruido Speckle se suprime normalmente aplicando un filtro de eliminación de Speckle a la imagen digital antes de visualización y análisis adicional.  
25

La figura 2 muestra la imagen de SAR granular de la figura 1 filtrada con un filtro de eliminación de Speckle.

Tal como se muestra en la figura 1, una imagen de SAR se visualiza habitualmente como una imagen en escala de grises. La intensidad  $I(x)$  de cada píxel x representa la parte de microondas retrodispersada por una zona objetivo correspondiente en el suelo, parte que depende de diversos factores: tipos, tamaños, formas y orientaciones de los dispersores s en la zona objetivo, contenido de humedad de la zona objetivo, frecuencia y polarización de los pulsos del radar, así como los ángulos incidentes del haz del radar. Los valores de intensidad de píxeles se convierten a menudo en una cantidad física llamada coeficiente de retrodispersión o sección transversal de radar normalizada,  
30 que se mide en unidades dBsm con valores que varían entre +5 dBsm para objetos muy brillantes y -40 dBsm para superficies muy oscuras.  
35

Interpretar una imagen de SAR no es una tarea sencilla. Muy a menudo requiere cierto conocimiento de las condiciones a nivel del suelo de las zonas representadas mediante una imagen. Como regla general útil, cuanto mayor sea la intensidad retrodispersada, más irregular es la superficie que está siendo representada mediante una imagen.  
40

En detalle, superficies planas tales como carreteras asfaltadas, pistas o agua en calma normalmente aparecen como zonas oscuras en una imagen de SAR dado que la mayoría de los pulsos de radar incidentes son reflejados de forma especular. La figura 3 muestra esquemáticamente un ejemplo de reflexión especular. En detalle, tal como se muestra en la figura 3, una superficie lisa 31 actúa como un espejo para el pulso de radar incidente. La mayoría de la energía del radar incidente es reflejada de acuerdo con la ley de la reflexión especular, es decir el ángulo de reflexión  $\alpha'$  es igual al ángulo de incidencia  $\alpha$ . Muy poca energía es retrodispersada al sensor del SAR.  
45

50 Por el contrario, una superficie irregular refleja el pulso de radar incidente en todas direcciones. Este fenómeno se denomina reflexión difusa. En este caso, parte de la energía del radar es dispersada de vuelta al sensor del radar. La cantidad de energía retrodispersada depende de las propiedades del objetivo a nivel del suelo. La figura 4 muestra esquemáticamente un ejemplo de reflexión difusa en presencia de una superficie irregular 41.

55 Por lo tanto, las superficies marítimas en calma aparecen oscuras en las imágenes de SAR, mientras que las superficies de mar picada pueden aparecer brillantes, especialmente cuando el ángulo de incidencia es pequeño y cuando la irregularidad de la superficie marítima se debe a olas que tienen una longitud de onda más corta que la longitud de onda de los pulsos de radar.

Además, la presencia de películas de aceite suaviza la superficie marítima. En algunas condiciones cuando la superficie marítima es lo suficientemente irregular, las películas de aceite pueden ser detectadas como parches oscuros contra un fondo brillante.

5 Además, los árboles y otra vegetación son, de forma habitual, moderadamente irregulares en la escala de longitudes de onda. Por lo tanto, aparecen como elementos moderadamente brillantes en la imagen. Las pluvisilvas tropicales tienen un coeficiente de retrodispersión característico de entre -6 y -7 dB, que es espacialmente homogéneo y permanece estable en el tiempo. Por esta razón, las pluvisilvas tropicales han sido usadas como objetivos de calibración para realizar la calibración radiométrica de imágenes de SAR.

10 Pueden aparecer objetivos muy brillantes en una imagen de SAR debido a un fenómeno llamado reflexión angular o efecto de doble rebote. La figura 5 muestra esquemáticamente un ejemplo de efecto de doble rebote donde el pulso de radar rebota desde un suelo horizontal 51 hacia un objetivo 52, y a continuación es reflejado desde una superficie vertical 52a del objetivo 52 de vuelta al sensor del SAR. Los ejemplos de dichos objetivos son buques en el mar,  
15 edificios de gran altura y objetos metálicos regulares tales como contenedores de carga. Zonas de acumulación y muchos elementos construidos por el hombre habitualmente aparecen como parches brillantes en una imagen de SAR debido al efecto de reflexión angular.

La figura 6 muestra una imagen de SAR de una zona del mar cercana a un puerto concurrido en el que pueden verse muchos barcos como puntos brillantes debido al efecto de reflexión angular. El mar está en calma y, por lo tanto, los buques pueden detectarse fácilmente contra el fondo oscuro.

Finalmente, el brillo de zonas cubiertas por suelo desnudo puede variar desde muy oscuro a muy brillante dependiendo de su irregularidad y contenido de humedad. Típicamente, el suelo irregular aparece brillante en la  
25 imagen. Para irregularidades de suelo similares, la superficie con un mayor contenido de humedad aparecerá más brillante.

La figura 7 muestra esquemáticamente un ejemplo de interacción de pulso de radar con un suelo seco 71, en el que parte de la energía de radar incidente es capaz de penetrar en la superficie del suelo 71a, dando como resultado  
30 una intensidad menos retrodispersada.

La figura 8 muestra esquemáticamente un ejemplo de interacción de pulso de radar con un suelo húmedo 81, en el que la gran diferencia de las propiedades eléctricas entre el agua y el aire da como resultado una mayor intensidad de radar retrodispersada.

35 La figura 9 muestra esquemáticamente un ejemplo de interacción de pulso de radar con un suelo inundado 91, en el que los pulsos de radar son reflejados de forma especular desde la superficie del agua 92, dando como resultado una baja intensidad retrodispersada. La zona inundada aparecerá oscura en la imagen de SAR.

40 Un método de detección de buques conocido basado en obtención de imágenes de SAR de zonas marítimas puede encontrarse en el artículo de Knut Eldhuset, "An automatic ship detection and ship wake detection system for spaceborn SAR images in Coastal regions", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 34, no. 4, julio de 1996. En particular, dicho artículo describe un sistema automático de detección de buques y detección de estelas de buques diseñado para regiones costeras con remolinos, frentes, olas y oleaje. Dicho sistema usa modelos  
45 de terreno digitales para simular imágenes de SAR sintéticas para enmascarar zonas de tierra. A continuación se realiza una búsqueda de buques objetivo seguida por una búsqueda de estelas alrededor de los candidatos a buque detectados. Finalmente, se realizan una prueba de homogeneidad y una prueba del comportamiento de la estela, lo que reduce sustancialmente el número de falsas alarmas.

50 Además, métodos conocidos de detección de buques adicionales basados en obtención de imágenes de SAR de zonas marítimas pueden encontrarse también en el documento D. J. Crisp, "The state-of-the-Art in Ship Detection in Synthetic Aperture Radar Imagery", Gobierno de Australia - Departamento de Defensa, Organización de Ciencia y Tecnología para la Defensa, DSTO-RR-0272, mayo de 2004. En particular, dicho informe es una revisión de la bibliografía disponible públicamente sobre algoritmos para detectar buques en obtención de imágenes de SAR, con  
55 el objetivo de recomendar algoritmos para inclusión en el Sistema de Soporte de Detección de los Analistas (ADSS), que es un sistema informático desarrollado en la Organización de Ciencia y Tecnología para la Defensa (DSTO) del Departamento de Defensa del Gobierno de Australia para la detección automática de objetivos en obtención de imágenes de SAR. En detalle, de acuerdo con el documento "The state-of-the-Art in Ship Detection in Synthetic Aperture Radar Imagery", la detección de buques generalmente consta de varias fases: enmascaramiento de la

tierra, preprocesamiento, preselección y discriminación.

### **OBJETO Y RESUMEN DE LA INVENCION**

5 El Solicitante ha observado que, en imágenes de SAR, el ruido Speckle está fuertemente correlacionado con la señal útil y, por lo tanto, cualquier proceso de reducción/eliminación de ruido Speckle modifica también características de la señal útil.

10 Por lo tanto, el Solicitante ha llevado a cabo un estudio en profundidad para desarrollar un método innovador para detectar objetivos en una zona marítima representada mediante una imagen de SAR que no necesite ningún tipo de preprocesamiento de la imagen de SAR, tal como reducción o eliminación de ruido Speckle, y, además, ningún conocimiento *a priori* de las condiciones a nivel del suelo de la zona marítima representada mediante una imagen.

15 El objetivo de la presente invención es, entonces, proporcionar el método de detección de un objetivo en una zona marítima representada mediante una imagen de SAR del tipo mencionado anteriormente.

20 Este objetivo se consigue mediante la presente invención en que se refiere a un método, un sistema, un dispositivo, y un programa informático para detectar un objetivo, tal como un buque, una película de aceite, un iceberg, una estructura semiinundada o cualquier otro posible objeto, en una zona marítima representada mediante una imagen de SAR, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

### **BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS**

25 Para una mejor comprensión de la presente invención, realizaciones preferidas, que pretenden servir puramente a modo de ejemplo y no deben interpretarse como limitantes, se describirán a continuación con referencia a los dibujos adjuntos (no todos a escala), en los que:

- La figura 1 muestra una imagen de SAR granular típica;
- 30 • La figura 2 muestra la imagen de SAR de la figura 1 filtrada con un filtro de eliminación de Speckle; 0
- La figura 3 muestra esquemáticamente un ejemplo de reflexión especular;
- La figura 4 muestra esquemáticamente un ejemplo de reflexión difusa;
- 35 • La figura 5 muestra esquemáticamente un ejemplo de efecto de doble rebote;
- La figura 6 muestra una imagen de SAR marítima;
- 40 • La figura 7 muestra esquemáticamente un ejemplo de interacción de pulso de radar con un suelo seco;
- La figura 8 muestra esquemáticamente un ejemplo de interacción de pulso de radar con un suelo húmedo;
- La figura 9 muestra esquemáticamente un ejemplo de interacción de pulso de radar con un suelo inundado;
- 45 • La figura 10 muestra representaciones gráficas de funciones de probabilidad discretas de Poisson;
- La figura 11 muestra un histograma de magnitudes de píxeles en una imagen de SAR típica de una zona marítima donde no está presente ningún objetivo;
- 50 • La figura 12 muestra esquemáticamente un sistema para detectar un objetivo en una zona marítima representada mediante una imagen de SAR de acuerdo con la presente invención; y
- La figura 13 muestra un diagrama de flujo de la detección de un objetivo en una zona marítima representada
- 55 mediante una imagen de SAR de acuerdo con la presente invención.

### **DESCRIPCION DETALLADA DE REALIZACIONES PREFERIDAS DE LA INVENCION**

La presente descripción se presenta para permitir a un experto en la materia fabricar y usar la invención.

Además, la presente invención se implementa por medio de un programa informático, cargable en una memoria de un procesador electrónico, y que comprende partes de código informático para implementar, cuando el programa informático se ejecuta en el procesador, la detección de objetivos en una zona marítima representada mediante una imagen de SAR descrita en lo sucesivo.

La presente invención surge de la observación realizada por el Solicitante de que, en una imagen de SAR de una zona marítima, donde no está presente ningún objetivo, magnitudes de píxeles están distribuidas de acuerdo con una distribución de Poisson. La magnitud puede ser un valor de intensidad, un coeficiente de retrodispersión o cualquier otro tipo de magnitud de píxel usada en la obtención de imágenes de SAR.

Por consiguiente, la probabilidad  $P(I)$  de la magnitud  $I$  viene dada por la siguiente función de probabilidad discreta de Poisson:

$$P(I) = \frac{\lambda^I e^{-\lambda}}{I!}$$

15

en la que  $\lambda$  es el valor esperado o valor medio de la magnitud  $I$ . Obviamente,  $e$  es la base del logaritmo natural, mientras que  $I!$  es el factorial de la magnitud  $I$ .

20 Tal como es fácilmente comprensible, dado el valor medio  $\lambda$ , la función de probabilidad discreta de Poisson y a continuación la distribución de Poisson de las magnitudes  $I$  son identificadas de forma unívoca.

Tal como se conoce, para la distribución de Poisson la varianza  $\sigma^2$  y el valor esperado  $\lambda$  coinciden, es decir, resulta que

25

$$\sigma^2 = \lambda$$

Obviamente, la desviación estándar  $\sigma$  es igual a  $\sqrt{\lambda}$ .

30 Además, para la distribución de Poisson, el modo, es decir, en términos de probabilidad el valor más probable o estadísticamente el valor que aparece de forma más frecuente, es igual a  $\lambda-1$ , si  $\lambda$  es un número entero, o en caso contrario a  $\lfloor \lambda \rfloor$ .

La figura 10 muestra una representación gráfica de tres funciones de probabilidad discretas de Poisson, teniendo cada una de ellas un valor medio respectivo  $A$ .

La figura 11 muestra un histograma de magnitudes de una imagen de SAR típica de una zona marítima donde no está presente ningún objetivo. En particular, el eje de abscisas representa coeficientes de retrodispersión medidos en decibelios ( $dB$ ), mientras que el eje de ordenadas representa apariciones normalizadas, es decir, las apariciones divididas por el valor de aparición más elevado. Tal como se muestra en la figura 11, los coeficientes de retrodispersión están distribuidos de acuerdo con una distribución de Poisson caracterizada por un valor medio de 5  $dB$  y un modo de 4  $dB$ .

La figura 12 muestra esquemáticamente un sistema electrónico 10 para detectar un objetivo en una zona marítima representada mediante una imagen de SAR de acuerdo con la presente invención.

En detalle, el sistema electrónico 10 comprende un procesador electrónico 11 acoplado a un sistema SAR 12 para adquirir datos de él. En particular, los datos adquiridos del sistema SAR 12 son imágenes de SAR que representan zonas marítimas.

50

Además, en el procesador electrónico 11 está instalado un programa informático que comprende partes de código informático para implementar la detección de objetivos en una zona marítima representada mediante una imagen de SAR descrita en lo sucesivo.

5 La figura 13 muestra un diagrama de flujo de la detección de un objetivo 13 en una zona marítima representada por una imagen de SAR, de acuerdo con la presente invención.

En particular, la detección de objetivos 13 comprende:

- 10 • calcular una cantidad de referencia (bloque 14)
- seleccionar píxeles en la imagen de SAR (bloque 15);
  - calcular una cantidad real (bloque 16); y
- 15 • detectar (bloque 17) un objetivo en la zona marítima.

En detalle, calcular una cantidad de referencia (bloque 14) comprende calcular una cantidad de referencia que caracteriza una distribución de Poisson supuesta para magnitudes que tendrían los píxeles en la imagen de SAR si la zona marítima estuviera libre de objetivos.

En otras palabras, calcular una cantidad de referencia (bloque 14) comprende estimar un valor medio  $\bar{I}$  de las magnitudes  $I$  de los píxeles en la imagen de SAR, la imagen de SAR compuesta por  $M \times N$  píxeles y representando la zona marítima. Por consiguiente, la cantidad de referencia es el valor medio estimado  $\bar{I}$ .

25

Más en detalle, el valor medio  $\bar{I}$  se estima de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\bar{I} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I(i, j)$$

30 en la que  $I(i, j)$  es la magnitud del píxel  $(i, j)$ .

De acuerdo con la filosofía que subyace en la presente invención, si no hubiera ningún objetivo, tal como un buque, una película de aceite, un iceberg, una estructura semiinundada o cualquier otro posible objeto, en la zona marítima representada por los  $M \times N$  píxeles, las magnitudes  $I$  de los  $M \times N$  píxeles estarían distribuidas de acuerdo con una

35 distribución estadística de referencia sin objetivos que es una distribución de Poisson caracterizada por un valor esperado igual al valor medio estimado  $\bar{I}$ . Por consiguiente, la probabilidad de referencia sin objetivos  $P(I)$  de la magnitud  $I$  viene dada por la siguiente función de probabilidad discreta de Poisson:

$$P(I) = \frac{\bar{I}^I e^{-\bar{I}}}{I!}$$

40

Por lo tanto, la magnitud que aparece de la forma más frecuente, es decir, el modo  $I^*$  de la distribución estadística de referencia sin objetivos, es igual a  $\bar{I} - 1$ , si  $\bar{I}$  es un número entero, o en caso contrario a  $\lfloor \bar{I} \rfloor$ .

Por consiguiente, la desviación estándar  $\bar{\sigma}$  de la distribución estadística de referencia sin objetivos es igual a

45  $\sqrt{\bar{I}}$ .

A continuación, seleccionar píxeles en la imagen de SAR (bloque 15) comprende seleccionar una subimagen de la imagen de SAR, la subimagen compuesta por  $m \times n$  píxeles, con  $m \leq M$  y  $n \leq N$ , y que representa una subzona marítima correspondiente de la zona marítima.

5 De forma operativa, seleccionar píxeles en la imagen de SAR (bloque 15) puede realizarse convenientemente usando una ventana de selección móvil dentro de la imagen de SAR y que comprende  $m \times n$  píxeles.

10 Además, calcular una cantidad real (bloque 16) comprende calcular una cantidad real que caracteriza una distribución estadística real de las magnitudes de los píxeles seleccionados.

En detalle, calcular una cantidad real (bloque 16) comprende:

15 • calcular un histograma de las magnitudes  $I$  de los píxeles seleccionados, representando el histograma la distribución estadística real de las magnitudes  $I$  de los píxeles seleccionados; e

• identificar en el histograma el valor de la magnitud  $I_M$  que aparece con la mayor frecuencia y que representa el modo de la distribución estadística real.

20 Por consiguiente, la cantidad real es el modo identificado.

Además, detectar (bloque 17) comprende:

25 • comparar la distribución estadística de referencia sin objetivos con la distribución estadística real, y

• detectar un objetivo, tal como un buque, una película de aceite, un iceberg, una estructura semiinundada o cualquier otro posible objeto, en la subzona marítima representada por los píxeles seleccionados en base a la comparación.

30 En particular, comparar tiene en cuenta el error de detección, siendo el error de detección debido a la naturaleza no ideal del sistema de detección, es decir, el sistema SAR, y a muchas otras causas, tales como el desplazamiento Doppler debido al movimiento relativo de la plataforma móvil del SAR y posibles objetivos sobre la superficie del mar.

35 En detalle, comparar permite que la distribución estadística de referencia sin objetivos y la distribución estadística real sean consideradas equivalentes si los modos respectivos  $I^*$  e  $I_M$  difieren en menos de un umbral de detección  $T$  que representa el error de detección, mientras que comparar permite que la distribución estadística de referencia sin objetivos y la distribución estadística real no sean consideradas equivalentes, y a continuación que un objetivo sea detectado en la subzona marítima representada por los píxeles seleccionados, si los modos respectivos  $I^*$  e  $I_M$  difieren en más que el umbral de detección  $T$  que representa el error de detección.

40 En más detalle, la distribución estadística de referencia sin objetivos y la distribución estadística real se consideran equivalentes si resulta que

$$I^* - I_M \leq T$$

45 mientras que la distribución estadística de referencia sin objetivos y la distribución estadística real no se consideran equivalentes, y entonces un objetivo es detectado en la subzona marítima representada por los píxeles seleccionados, si resulta que

$$I^* - I_M > T$$

50



Convenientemente, el umbral de detección  $T$  puede establecerse igual a  $\frac{\sigma_M}{3}$ .

Convenientemente, el error de detección representado por el umbral de detección  $T$  puede estimarse de forma más fiable considerando varias imágenes de SAR que representan la misma zona marítima y adquiridas de forma muy cercana en el tiempo para tener señales útiles muy correlacionadas y ruido Speckle sin correlacionar.

Por consiguiente, un valor medio  $M_i$  de las magnitudes de los píxeles en las varias imágenes de SAR se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$M_i = \frac{1}{MNK} \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I_k(i, j)$$

10

en la que  $K$  es el número de las imágenes de SAR consideradas para el cálculo de  $M_i$ , e  $I_k(i, j)$  es la magnitud del píxel  $(i, j)$  en la  $k$ -ésima imagen de SAR.

15 Por lo tanto, una desviación estándar  $\sigma_M$  basada en el valor medio calculado  $M_i$  se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\sigma_M = \sqrt{M_i}$$

20 Por consiguiente, el umbral de detección  $T$  se establece igual a  $\frac{\sigma_M}{3}$ .

Además, en otra posible realización de la presente invención, calcular una cantidad de referencia (bloque 14) también puede basarse en considerar varias imágenes de SAR que representan la misma zona marítima y adquiridas de forma muy cercana en el tiempo. Por lo tanto, en este caso, la distribución estadística de referencia sin

25 objetivos es una distribución de Poisson caracterizada por un valor esperado igual al valor medio calculado  $M_i$ . En este caso, el modo  $M^*$  de la distribución estadística de referencia sin objetivos es igual a  $M_i - 1$ , si  $M_i$  es un número entero, o en caso contrario a  $\lfloor M_i \rfloor$ .

30 Por consiguiente, en relación con detectar (bloque 17), la distribución estadística de referencia sin objetivos y la distribución estadística real son consideradas equivalentes si resulta que

$$M^* - I_M \leq T$$

35 mientras que la distribución estadística de referencia sin objetivos y la distribución estadística real no son consideradas equivalentes, y entonces un objetivo es detectado en la zona marítima representada por los píxeles seleccionados, si resulta que

$$M^* - I_M > T$$

En este caso, el umbral de detección T se establece igual a  $\frac{\sigma_M}{3}$ .

A partir de lo anterior, puede apreciarse inmediatamente que la presente invención permite una detección fiable y eficaz de objetivos en zonas marítimas representadas mediante una imagen de SAR por medio de un procesamiento de luz de forma computacional sin necesidad de ningún tipo de preprocesamiento de la imagen de SAR, tal como reducción o eliminación de ruido Speckle, y ningún conocimiento *a priori* de las condiciones de nivel del suelo de la zona marítima representada mediante una imagen.

**REIVINDICACIONES**

1. Método de detección de un objetivo en una zona marítima considerada en base a una imagen dada de radar de apertura sintética que representa dicha zona marítima considerada, comprendiendo el método:
- 5
- seleccionar píxeles en una única y misma subimagen de la imagen dada de radar de apertura sintética, representando dicha subimagen una subzona de la zona marítima considerada;
- estando el método **caracterizado por que** comprende además:
- 10
- proporcionar una distribución de referencia sin objetivos para magnitudes de píxeles en una imagen de radar de apertura sintética de una zona marítima libre de objetivos, siendo dicha distribución de referencia sin objetivos una distribución de Poisson;
- 15
- calcular una primera cantidad de referencia indicativa de un valor medio de magnitudes de píxeles en varias imágenes de radar de apertura sintética, cada una de las cuales representa la zona marítima considerada en un momento respectivo, en el que la distribución de Poisson se **caracteriza por** un valor esperado en base a la primera cantidad de referencia;
- 20
- calcular una segunda cantidad de referencia que representa la magnitud que aparece de forma más frecuente en la distribución de Poisson sobre la base de la primera cantidad de referencia;
- calcular una distribución estadística real de magnitudes de los píxeles seleccionados calculando un histograma de las magnitudes de los píxeles seleccionados, y proporcionando una cantidad real indicativa de la magnitud que
- 25
- aparece de forma más frecuente en la distribución estadística real sobre la base del histograma calculado;
- comparar la distribución de referencia sin objetivos y la distribución estadística real llevando a cabo una comparación de la segunda cantidad de referencia con la cantidad real por medio de un umbral de detección relacionado con un error de detección en base a la desviación estándar de la distribución de Poisson; y
- 30
- detectar un objetivo en la subzona si la segunda cantidad de referencia y la cantidad real difieren en más que el umbral de detección relacionado con el error de detección.
2. El método de la reivindicación 1, en el que el umbral de detección relacionado con el error de
- 35
- detección es igual a un tercio de la desviación estándar de la distribución de Poisson.
3. Un dispositivo electrónico configurado para implementar el método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior.
- 40
4. Un producto de programa informático que comprende partes de código informático almacenables en una memoria de un procesador y tal que causa, cuando está almacenado, que el procesador quede configurado para implementar el método de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2.

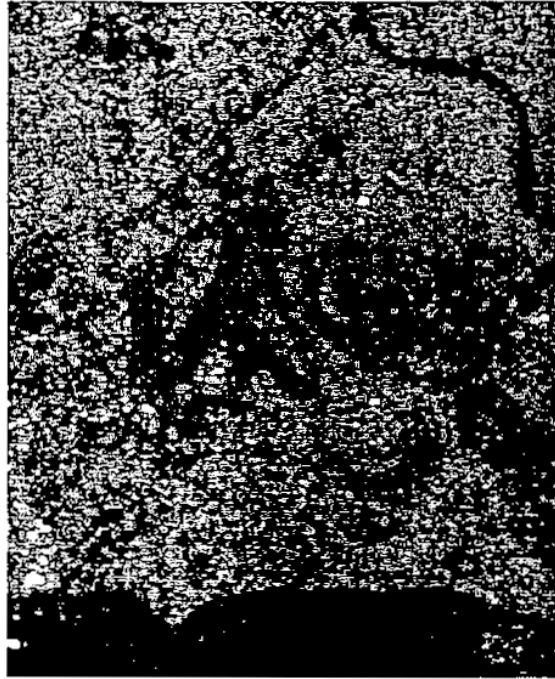


Fig. 1

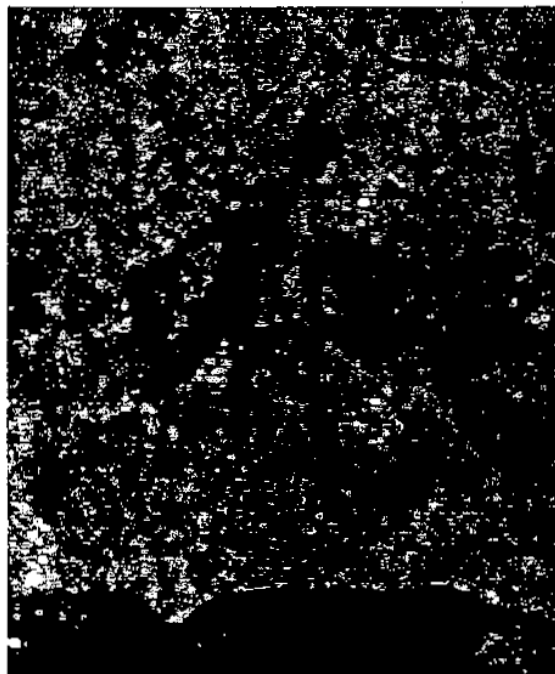


Fig. 2

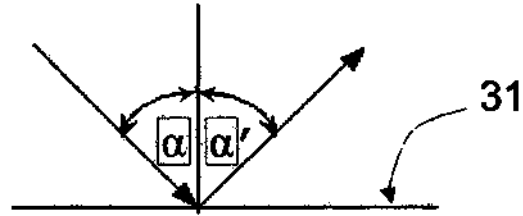


Fig. 3

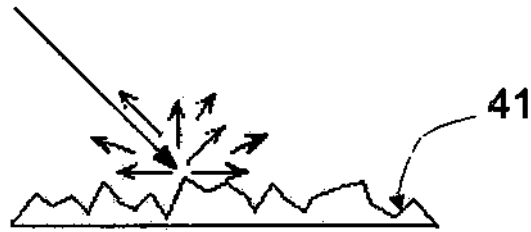


Fig. 4

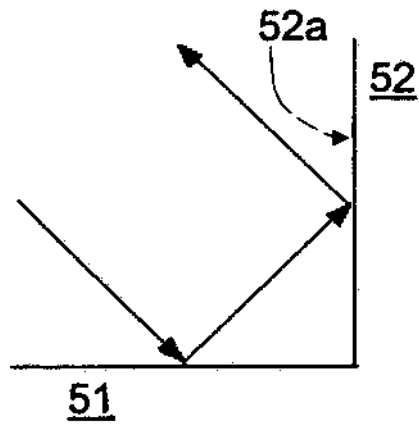


Fig. 5



Fig. 6

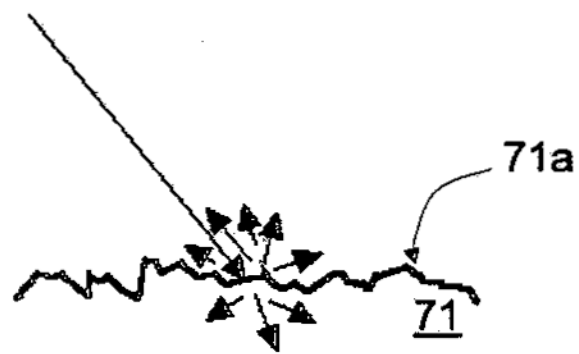


Fig. 7

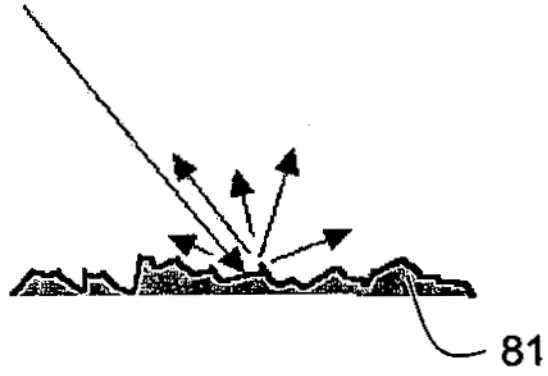


Fig. 8

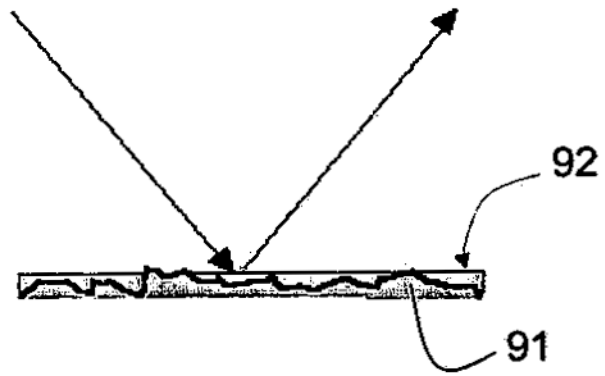


Fig. 9

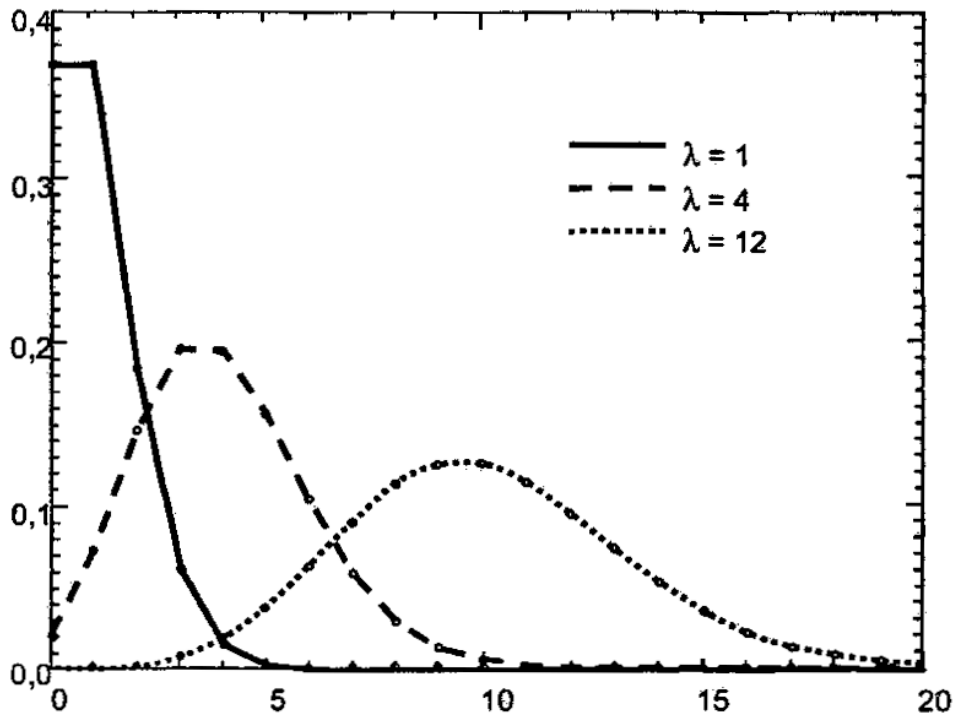


Fig. 10

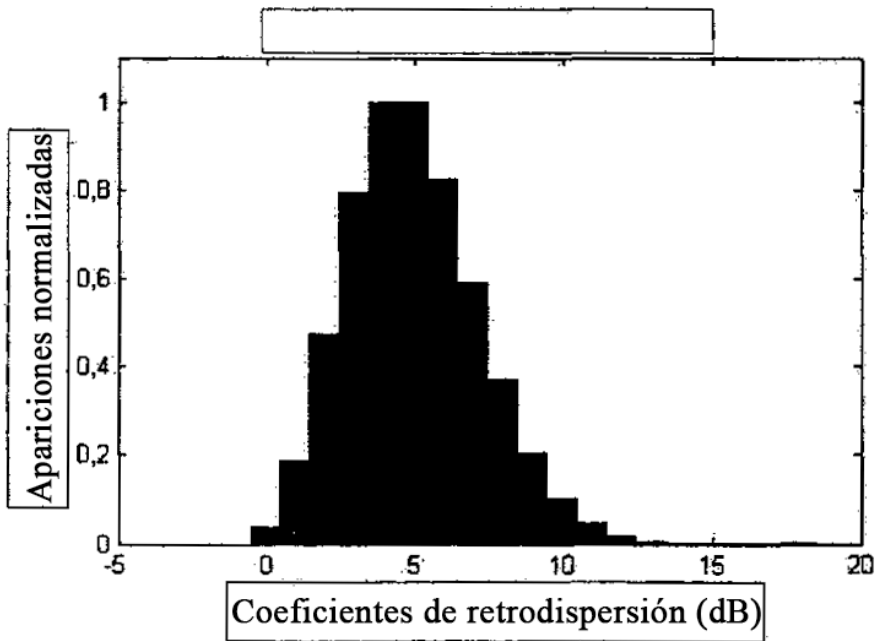


Fig. 11



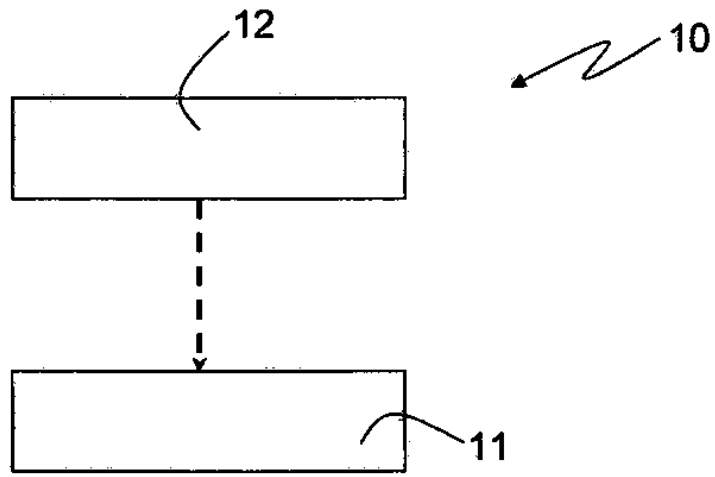


Fig. 12

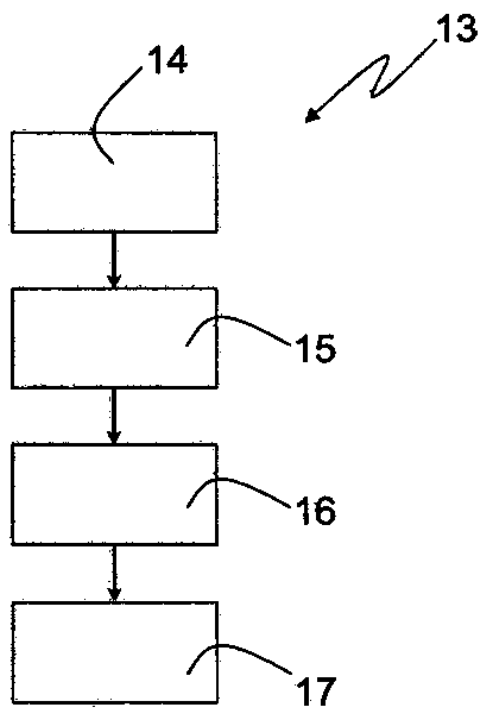


Fig. 13