

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 635 252**

51 Int. Cl.:

G01S 13/42 (2006.01)

G01S 13/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.03.2014** **E 14159672 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.05.2017** **EP 2778712**

54 Título: **Sistema de radar de apertura real para uso a bordo de un satélite y para aplicaciones de vigilancia marítima**

30 Prioridad:

13.03.2013 IT TO20130196

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

03.10.2017

73 Titular/es:

**THALES ALENIA SPACE ITALIA S.P.A. CON
UNICO SOCIO (100.0%)
Via Saccomuro, 24
Roma, IT**

72 Inventor/es:

TORRE, ANDREA

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 635 252 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

Sistema de radar de apertura real para uso a bordo de un satélite y para aplicaciones de vigilancia marítima

5 **Sector técnico de la invención**

La presente invención se refiere a un sistema de radar de apertura real (RAR) para uso a bordo de un vehículo/plataforma a alta altitud, específicamente un vehículo/plataforma espacial, por ejemplo un satélite. En particular, la presente invención halla la ventaja, aunque no exclusiva, de la aplicación en vigilancia de la superficie de la Tierra, específicamente en vigilancia marítima, es decir, en vigilancia de mares y océanos.

Estado de la técnica

La Figura 1 es una ilustración esquemática no a escala de una geometría de referencia típica para observación y vigilancia de la superficie de la Tierra mediante un radar de apertura real (denominado en lo sucesivo, por simplicidad de descripción, como “sensor/sistema de RAR” o también simplemente “RAR”). En este sentido, se pretende en el presente documento destacar el hecho de que en la Figura 1 (y también en la siguiente Figura 2, que se presentará y describirá en lo que sigue) la superficie de la Tierra se (y será) ilustra como “plana” simplemente por conveniencia y simplicidad de ilustración y descripción, sin implicar esto ninguna pérdida de generalidad.

En particular, la Figura 1 es una ilustración esquemática de un sensor de RAR 10 que se transporta en vuelo/órbita por un vehículo/plataforma aérea/espacial (no mostrados en la Figura 1 por simplicidad de ilustración), tal como por ejemplo un avión o un vehículo aéreo no tripulado (UAV) o un satélite, en una dirección de vuelo d a una altura h (con respecto a la superficie de la Tierra) supuesta sustancialmente constante. Como es conocido, la altura h del sensor de RAR 10 se mide en una dirección del nadir z que pasa a través de dicho sensor de RAR 10 (en particular, que pasa a través del centro de fase de la antena del sensor de RAR 10) y es ortogonal a la superficie de la Tierra y a la dirección de vuelo d .

El rastreo terrestre del sensor de RAR 10 identifica una dirección de azimut x que es paralela a la dirección de vuelo d y es ortogonal a la dirección del nadir z , mientras que una denominada dirección de “rastreo transversal” y , que es ortogonal tanto a la dirección del nadir z como a la dirección del azimut x , identifica, junto con la dirección del azimut x , un plano xy tangencial a la superficie de la Tierra.

En uso, el sensor de RAR 10, mediante una antena apropiada (no mostrada en la Figura 1 por simplicidad de ilustración), transmite una serie de pulsos de radar en una dirección de señalamiento (o de iluminación u observación) r que forma con la dirección del nadir z un ángulo de elevación θ_{el} y con la dirección de vuelo d un error de directividad φ que es (sustancialmente) un ángulo recto. Adicionalmente, suponiendo que el sensor de RAR 10 es un radar monoestático, dicho sensor de RAR 10, en uso, recibe las señales retrodispersadas desde la superficie de la Tierra mediante la misma antena que la usada para transmisión.

En particular, el sensor de RAR 10 ilumina con los pulsos de radar, y a continuación recibe las señales retrodispersadas correspondientes desde, una banda de la superficie de la Tierra, conocida universalmente como “sector”, que se extiende principalmente paralelo a la dirección del azimut x y que, en una dirección paralela a la dirección de rastreo transversal y , tiene una anchura dada W que depende principalmente de la anchura del haz de antena del sensor de RAR 10 en el plano de elevación zy .

Como se ilustra en la Figura 1, la línea que une el sensor de RAR 10 al borde del sector más cercano al rastreo terrestre de dicho sensor de RAR 10 forma, con la normal al plano xy tangencial a la superficie de la Tierra en el punto específico considerado, un primer ángulo de incidencia θ_n , mientras que la línea que une el sensor de RAR 10 al borde del sector más alejado del rastreo terrestre de dicho sensor de RAR 10 forma, con la normal al plano xy tangencial a la superficie de la Tierra en el punto específico considerado, un segundo ángulo de incidencia θ_f , con $\theta_n < \theta_f$.

Una vez de nuevo con referencia a la figura 1, el borde del sector más cercano al rastreo terrestre de dicho sensor de RAR 10 está localizado a una distancia (rango de inclinación) R_n desde dicho sensor de RAR 10 y el borde del sector más alejado del rastreo terrestre de dicho sensor de RAR 10 está localizado a una distancia (rango de inclinación) R_f desde dicho sensor de RAR 10, de manera evidente, con $R_n < R_f$.

En la continuación de la descripción, se usarán las siguientes definiciones, que son ampliamente conocidas tanto, en general, en el sector de sistemas de radar como, en particular, en el sector de sistemas de radar de apertura real.

- Probabilidad de detección - por “probabilidad de detección” se pretende la posibilidad estadística de que un radar detecte la presencia de un objetivo presente de manera efectiva en un entorno con ruido.
- Probabilidad de falsa alarma - por “probabilidad de falsa alarma” se pretende la posibilidad estadística de que un radar detecte la presencia de un objetivo que no está realmente presente en un entorno con ruido.

- Resolución espacial - por “resolución espacial” se pretende la distancia más corta, expresada en general en metros, entre dos objetivos idénticos de manera que un radar puede determinar la presencia de dos objetivos y no de un único objetivo.
- 5 • Resolución en azimut - por “resolución en azimut” se pretende la resolución espacial de un radar en la dirección del azimut (por ejemplo, con referencia a la figura 1, en la dirección x).
- Resolución en rango - por “resolución en rango” se pretende la resolución espacial de un radar en la dirección de rastreo transversal (por ejemplo, con referencia a la figura 1, en la dirección y).
- Cobertura de radar - por “cobertura de radar” se pretende el área que puede observarse por un radar.
- 10 • Frecuencia de repetición de pulso (PRF) - por “frecuencia de repetición de pulso” (denominada en lo sucesivo, por simplicidad, también como PRF) se pretende la frecuencia a la que se transmiten los pulsos de radar.
- Intervalo de repetición de pulso (PRI) - por “intervalo de repetición de pulso” (denominado en lo sucesivo, por simplicidad, como PRI) se pretende el tiempo que transcurre entre la transmisión de dos pulsos consecutivos. Como es conocido, $PRI=1/PRF$.
- 15 • Eco - por “eco” se pretende la señal de retorno recibida por un radar y que proviene de objetos iluminados por un pulso de radar transmitido por dicho radar.
- Interferencia - por “interferencia” se pretende un eco indeseado.
- Interferencia de mar - por “interferencia de mar” se pretende la señal de retorno desde un área del mar en la que los objetivos no están presentes.
- 20 • Célula de resolución - por “célula de resolución” se pretende el área elemental, de tierra o mar, suministrada por un radar después del procesamiento de la señal recibida.
- Ángulo de incidencia - por “ángulo de incidencia” se pretende el ángulo formado entre el segmento de línea recta que une un radar y un punto observado y la normal al plano tangencial a la superficie de la Tierra en el punto observado (por ejemplo, con referencia a la figura 1, los ángulos θ_n y θ_f).

25 Como es conocido, en el caso de aplicaciones de vigilancia marítima, es decir, para detectar objetivos, en particular embarcaciones, en la superficie de mares y/u océanos, un sistema de radar transportado en vuelo/órbita por un vehículo/plataforma aéreo/espacial en uso:

- transmite, con una cierta PRF y mediante una antena de transmisión, pulsos de radar hacia el mar; y a continuación
- 30 • recibe, mediante una antena de recepción, y procesa la señal de eco retrodispersada desde la escena observada.

En el caso donde un sistema de radar usa una y la misma antena para transmitir y recibir, dicho sistema de radar se dice que es monoestático, mientras que en el caso donde un sistema de radar usa dos antenas diferentes, dicho sistema de radar se dice, en su lugar, que es biestático.

Para mejorar el rendimiento de un sistema de radar para vigilancia marítima, es importante reducir el número de ecos ambiguos y su amplitud. El eco de un objetivo dado se caracteriza por su tiempo de recepción y por su frecuencia Doppler resultante del movimiento del vehículo/plataforma aérea/espacial.

40 Como es conocido, un eco ambiguo (o ambigüedad) es un eco parásito que:

- se provoca por la “respuesta” de un área que es diferente de la de la célula de resolución “útil” y que se ilumina directamente por el pulso de radar considerado en el origen de dicho eco; y
- 45 • se superpone exactamente en el tiempo y a la frecuencia Doppler en la señal “útil”.

Estas ambigüedades son debido a la operación pulsada del radar. En particular, las ambigüedades pueden ser de dos tipos:

- 50 1) ambigüedad en rango, es decir, los ecos que provienen de áreas situadas en la dirección normal a la dirección de vuelo (locus de puntos de cero Doppler) y que corresponden a pulsos anteriores o posteriores al considerado; y
- 2) ambigüedad en azimut, es decir, ecos que provienen de áreas que están situadas en la misma distancia que el área útil y la frecuencia Doppler de la cual es ambigua con respecto a la frecuencia Doppler del área útil (transmisión pulsada representa el espectro de Doppler de las señales de eco periódico).

55 Típicamente, la probabilidad de detección de un sistema de radar para vigilancia de los océanos deben ser igual o mayor del 90 %, y la probabilidad de falsa alarma debe ser igual o menor que 10^{-7} . Estos valores de rendimiento requieren resoluciones espaciales en el rango del orden de decenas de metros.

60 Para garantizar una cobertura global de la superficie del mar, típicamente se considera un sector que tiene una anchura de aproximadamente 1000 km. Para reducir a un mínimo la ambigüedad en el rango, típicamente se usa una PRF del orden de 50/100 Hz.

65 La resolución espacial en el rango está típicamente fijada a unas pocas decenas de metros (típicamente entre 50 y 300 m) como una función de la banda de la señal transmitida. La resolución espacial en azimut es típicamente del orden de unos pocos kilómetros y se determina por la huella del haz de la antena en el terreno en azimut. Por

ejemplo, la resolución espacial en azimut de un sistema de radar que está instalado bordo de un satélite que tiene una altura de 600 km, que funciona en la banda X a 9,6 GHz y que usa una antena que tiene una longitud de 10 m y una dirección de observación con un ángulo de incidencia de aproximadamente 70°, es típicamente 4,5 km.

5 En este sentido, la solicitud de patente de Estados Unidos N. ° US 2010/141507 A1 publicada el 10 de junio de 2010 (que en lo que sigue se identificará, por simplicidad, como Ref1) y el artículo por J. Richard et al. titulado: "AN INNOVATIVE SPACEBORNE RADAR CONCEPT FOR GLOBAL MARITIME SURVEILLANCE: DESCRIPTION AND PERFORMANCE DEMONSTRATION", IEEE Geoscience y Remote Sensing Symposium, IGARSS 25 de julio de 2010, páginas 257-259, (que en lo que sigue se identificará, por simplicidad, como Ref2) sustancialmente describen uno y el mismo dispositivo de radar para vigilancia marítima, que se instala a bordo de un vehículo a alta altitud, en particular un satélite, usa una PRF del orden de 100 Hz y un ángulo de incidencia de aproximadamente 70°, y puede observar un sector que tiene una anchura de aproximadamente 1000 km con una resolución en azimut de unas pocas decenas de metros y una resolución en rango de unas pocas decenas de metros.

15 En particular, el dispositivo de radar descrito en Ref1 y Ref2 es un radar de apertura sintética parcial que usa una técnica de exploración en recepción, es decir, que usa:

- en transmisión, un haz de antena que es muy ancho en el plano de elevación de tal manera que ilumina un sector que tiene una anchura de aproximadamente 1000 km; y,
- 20 • en recepción, un haz de antena que, en el plano de elevación, es más estrecho que el usado en transmisión (en particular, es P veces más estrecho, con $P \geq 5$).

Adicionalmente, el radar de apertura sintética parcial anterior comprende medios de exploración de recepción, que, en recepción, apuntan dinámicamente al haz de antena de recepción siguiendo las direcciones de llegada del eco para aumentar la ganancia de recepción.

Finalmente, el radar de apertura sintética parcial anterior también aprovecha una técnica de agilidad de frecuencia entre pulsos sucesivos.

30 Adicionalmente, el artículo por M. Marzoug et al., titulado: "DESIGN OF A SPACEBORNE RADAR FOR TROPICAL RAIN MAPPING AT THE CLIMATOLOGICAL SCALE", IEEE Geoscience y Remote Sensing Symposium, IGARSS '88, vol. 1, 12 de septiembre de 1988, páginas 247- 248, (que en lo que sigue se identificará, por simplicidad, como Ref3) describe un radar de vehículos espaciales diseñado para medir el nivel de lluvia tropical.

35 En particular, el radar descrito en Ref3 lleva a cabo mediciones de volumen en las que se proporciona la célula de resolución tridimensional:

- en altura, por la resolución en rango (enlazada a la banda de la señal transmitida); y
- con respecto a la base, por la huella de terreno de la antena (enlazada a la anchura del haz de la antena en azimut y elevación).

En detalle, el radar descrito en Ref3 opera a una frecuencia de operación cercana a 14 GHz usando agilidad de frecuencia (en particular, usa dos frecuencias desplazadas por 10 MHz), usa una PRF de 3500 Hz, y tiene una huella de terreno en el nadir de 1,6 km y una resolución en rango de 250 m.

45 En uso, el radar descrito en Ref3 lleva a cabo, a través de una exploración del haz de antena, adquisiciones de muestra de áreas discretas de la superficie de la Tierra separadas unas de las otras, tanto en la dirección del azimut como en la dirección de rastreo transversal, en 3 km para realizar mediciones volumétricas de muestra. Adicionalmente, el radar descrito en Ref3 puede ejecutar las adquisiciones de muestra anteriormente mencionadas en tres sectores paralelos, cada uno de los cuales tiene una anchura de 100 km.

La operación del radar descrito en Ref3 es evidentemente inaplicable a un sistema de radar para vigilancia marítima. De hecho, como es conocido y se ha descrito anteriormente, un sistema de radar para vigilancia marítima tiene el fin de identificar un objetivo a través de un área muy extensa de mar y, para este fin, realiza mediciones de la superficie en las que la célula de resolución bidimensional está limitada por la resolución de la superficie de la Tierra (enlazada a la banda del pulso transmitido y el ángulo de incidencia) y por el tamaño del haz de la antena en la dirección de vuelo.

Objeto y sumario de la invención

60 Como se ha descrito anteriormente, un sistema de radar para aplicaciones de vigilancia marítima debe poder observar sectores muy extensos, en particular sectores que tienen una anchura del orden de aproximadamente 1000 km, con una resolución espacial del orden de decenas de metros, o, en cualquier caso, con una resolución espacial comparable con las dimensiones de los objetivos que se pretenden detectar, en particular embarcaciones.

65 El objeto de la presente invención es por lo tanto proporcionar un sistema de radar de apertura real (RAR) para uso

a bordo de un vehículo/plataforma a alta altitud, en particular a bordo de un vehículo/plataforma espacial, específicamente a bordo de un satélite, que puede garantizar el rendimiento anteriormente mencionado, que puede observar sectores muy extensos, en particular sectores con una anchura del orden de aproximadamente 1000 km, con una resolución espacial del orden de decenas de metros, o, en cualquier caso, con una resolución espacial comparable con las dimensiones de los objetivos que se pretende detectar, en particular embarcaciones.

El objeto anteriormente mencionado se consigue mediante la presente invención en la medida en que se refiere a un sistema de radar de apertura real para vigilancia de la superficie de la Tierra y el correspondiente método de operación, de acuerdo con lo que se define en las reivindicaciones adjuntas.

En particular, la presente invención se refiere a un método de operación de un sistema de radar de apertura real para vigilancia de la superficie de la Tierra, estando instalado dicho sistema de radar de apertura real en un vehículo/plataforma espacial que se mueve en una dirección de vuelo y que comprende una antena transceptora, o una antena de transmisión y una antena de recepción, que es/son electrónicamente orientables.

Dicho método comprende:

- a) transmitir, mediante la antena transceptora/de transmisión, una serie de M pulsos de radar hacia un sector de la superficie de la Tierra paralelo a la dirección de vuelo usando un haz de antena apuntado a dicho sector, en el que M es un número entero mayor de dos;
- b) para cada uno de los M pulsos de radar transmitidos, que se reciben, mediante la antena transceptora/de recepción, una señal de eco correspondiente durante el intervalo de tiempo que transcurre entre transmisión de dicho pulso de radar y la transmisión del siguiente pulso de radar usando el mismo haz de antena que el usado para transmitir los M pulsos de radar; y
- c) llevar a cabo ciclos de exploración de elevación, en el que cada ciclo de exploración de elevación se lleva a cabo repitiendo N veces las operaciones a) y b) y cambiando electrónicamente, cada vez, la dirección de señalamiento en elevación del haz de antena de modo que, en cada ciclo de exploración de elevación, los pulsos de radar se transmiten hacia, y las señales de eco se reciben desde, N sectores de la superficie de la Tierra que son paralelos a la dirección de vuelo y están adyacentes o parcialmente solapantes, en el que N es un número entero mayor que uno.

Adicionalmente, de acuerdo con la presente invención, todos los pulsos de radar se transmiten:

- con una frecuencia de repetición de pulso predefinida y una temporización predefinida del ciclo de exploración de tal manera para garantizar una cobertura completa de cada uno de los N sectores en paralelo a la dirección de vuelo; y
- usando una técnica de agilidad de frecuencia.

Preferentemente, la técnica de agilidad de frecuencia se implementa usando las siguientes características:

- todos los pulsos de radar transmitidos pueden tener uno y el mismo ancho de banda predefinido;
- los M pulsos de radar transmitidos, en un ciclo de exploración de elevación, hacia uno y el mismo sector ocupan, cada uno, una respectiva banda de frecuencia que tiene dicho ancho de banda predefinido y se identifica por una respectiva frecuencia que está separada, de las frecuencias de referencia de los pulsos de radar transmitidos inmediatamente antes e inmediatamente después, por un primer salto de frecuencia que es mayor que dicho ancho de banda predefinido;
- las frecuencias de referencia de los M pulsos de radar transmitidos, en un ciclo de exploración de elevación, hacia uno y el mismo sector se seleccionan alrededor de una y la misma frecuencia de transmisión central; y
- en cada ciclo de exploración de elevación se usa, para cada sector, una respectiva frecuencia de transmisión central que está separada, de las frecuencias de transmisión central usadas en dicho ciclo de exploración de elevación para los otros sectores, por un segundo salto de frecuencia que es mayor que el primer salto de frecuencia.

Breve descripción de los dibujos

Para un mejor entendimiento de la presente invención, algunas realizaciones preferidas, proporcionadas simplemente a modo de ejemplo explicativo y no limitante, se ilustrarán con referencia a los dibujos adjuntos (no a escala), en los que:

- La Figura 1 es una ilustración esquemática de una geometría de referencia típica para observación y vigilancia de la superficie de la Tierra mediante un radar de apertura real;
- La Figura 2 es una ilustración esquemática de un ejemplo de lógica de operación de un sistema de radar de apertura real de acuerdo con la presente invención; y
- La Figura 3 es una ilustración esquemática de una arquitectura funcional proporcionada a modo de ejemplo de un sistema de radar de apertura real monoestático de acuerdo con una realización preferida de la presente invención.

Descripción detallada de realizaciones preferidas de la invención

La presente invención se refiere a un sistema de RAR para uso a bordo de un vehículo/plataforma a alta altitud, en particular un vehículo/plataforma espacial, específicamente un satélite, para aplicaciones de vigilancia de la superficie de la Tierra, en particular para aplicaciones de vigilancia marítima. En lo que sigue, la presente invención se describirá, por simplicidad de presentación y sin implicar esto ninguna pérdida de generalidad, con referencia explícita al caso de un sistema de RAR monoestático. Por supuesto, los principios de operación descritos en lo que sigue para el caso monoestático pueden aplicarse, cambiando lo que corresponda, también al caso de un sistema de RAR biestático.

La probabilidad de detección de un sistema de radar está vinculada directamente a la relación de señal a ruido (SNR) y a la relación de señal a interferencia (SCR). Cuanto mayor son la SNR y la SCR, más alta es la probabilidad de detección y más baja la probabilidad de falsa alarma.

Los valores altos de SNR y SCR pueden obtenerse aumentando la potencia de la señal transmitida y/o la ganancia de antena, en particular, en el caso de un radar monoestático, la ganancia de la única antena usada para transmitir y recibir, o, en el caso biestático, la ganancia de la antena de transmisión y la ganancia de la antena de recepción.

Los valores altos de SNR y SCR pueden obtenerse también añadiendo un número de ecos sucesivos. Para poder hacer esto, es necesario que el ruido y la interferencia estén descorrelacionados entre un pulso de radar y el siguiente. Mientras que esto se cumple para el ruido de un tipo térmico, no se cumple para la interferencia en el caso donde la distancia temporal entre dos ecos es menor que el tiempo de descorrelación de la interferencia.

La presente invención proviene de la intuición del solicitante de aumentar la SNR y la SCR de un sistema de RAR aumentando la ganancia de antena usada para transmisión y recepción, manteniendo el tamaño del sector invariable (aproximadamente 1000 km) y aprovechando una técnica que posibilita la descorrelación de la interferencia.

En particular, las ideas que subyacen la presente invención son:

- el uso, tanto en transmisión como en recepción, de un haz de antena “estrecho”, es decir, con alta ganancia, explorando en el plano de elevación para observar N (con $N > 1$) sub-sectores (por ejemplo, cinco subsectores adyacentes o parcialmente solapantes, teniendo cada uno una anchura de aproximadamente 200 km), que juntos forman el sector global de interés (por ejemplo, que tiene una anchura de aproximadamente 1000 km); y
- con una ganancia de manera que posibilita la detección de un objetivo en interferencia del mar;
- el uso de una PRF de operación (por ejemplo, 500 Hz) más alta que las típicamente usadas para aplicaciones de vigilancia marítima (comprendidas normalmente entre 50 y 100 Hz) para obtener un número de ecos suficiente para garantizar la ganancia de integración requerida; y
- el uso de una técnica de agilidad de frecuencia para descorrelacionar la interferencia del mar.

En detalle, el uso de un haz de antena “estrecho” con alta ganancia, explorando en el plano de elevación para observar N sub-sectores, que juntos forman el sector global de interés posibilita que se obtenga un alto valor de SNR. El uso de una PRF de operación alta (por ejemplo, 500 Hz) posibilita que se obtenga un número de ecos suficiente para garantizar la ganancia de integración requerida, pero desafortunadamente es responsable, al mismo tiempo, de que aumente la correlación de la interferencia del mar entre un pulso de radar transmitido y el siguiente. Para evitar que esto tenga lugar, se aprovecha la agilidad de frecuencia.

De manera conveniente, cada ciclo de exploración se completa en un intervalo de tiempo para garantizar una cobertura continua en la dirección del azimut.

Entrando en mayor detalle, la presente invención incluye:

a) transmisión, mediante un sensor de RAR, de un pulso de radar usando un haz de antena estrecho para iluminar una porción (por ejemplo, que tiene una anchura de $1000/N$ km) del sector de interés con una ganancia de antena alta; el pulso transmitido alcanza el área iluminada por el haz que se inicia desde el borde más cercano y a continuación se propaga hacia el borde más lejano; de la misma manera, y con una temporización igual a la de la señal transmitida, la señal de eco retrodispersada desde la superficie del mar y/o desde el objetivo se propaga y se recibe por el sensor de RAR;

b) recepción, mediante el sensor de RAR, de la señal de eco debido al pulso transmitido n en el tiempo que transcurre entre la transmisión del pulso “n” y la transmisión del siguiente pulso n+1 (es decir, en el PRI que transcurre entre transmisión del pulso n y la transmisión del pulso n+1); la recepción tiene lugar por medio de un haz de antena que tiene las mismas características que el usado en la transmisión para tener una ganancia de antena también en recepción; y

c) repetición de las operaciones descritas en los puntos a) y b) para M PRI consecutivas (donde M es un número entero mayor de dos, preferentemente mayor que N) y a continuación volver a apuntar el haz de la antena hacia un subsector diferente para el que se realiza de nuevo las operaciones descritas en los puntos a) y b) M veces; el ciclo de exploración de elevación termina cuando todos los N sub-sectores se han observado para tener en las $N \times M$ PRI una adquisición completa del área de interés (es decir, del sector global de interés).

Como se ha mencionado previamente, los elementos que caracterizan un RAR para vigilancia marítima son la SNR y la SCR y el producto de la potencia transmitida y la ganancia necesaria para garantizar altos valores de SNR y SCR.

5 Los sistemas de RAR actualmente conocidos hacen uso de valores de PRF bajos (típicamente comprendidos entre 50 y 100 Hz) para garantizar:

- un sector no ambiguo de las dimensiones de referencia (aproximadamente 1000 km); y
- descorrelación de la interferencia del mar entre dos ecos sucesivos.

10 Adicionalmente, muchos de los sistemas de RAR actualmente conocidos usan, tanto en transmisión como en recepción, un haz de antena muy ancho en el plano de elevación y, en consecuencia, un valor bajo de ganancia de antena puede observar sectores extensos, es decir, sectores que tienen anchuras típicamente de aproximadamente 1000 km. De esta manera, estos sistemas de RAR no pueden obtener un nivel de SNR suficiente para garantizar la probabilidad de detección requerida (es decir, igual a o mayor del 90 %).

En su lugar, la presente invención se refiere a un sistema de exploración de RAR “incoherente”, es decir, un sistema de RAR que:

- 20 • usa un haz de antena que, en el plano de elevación (en particular, con referencia al sistema de referencia cartesiano xyz representado en la Figura 1 y anteriormente descrito, en el plano identificado por la dirección del nadir z y por la dirección de rastreo transversal y), es suficientemente estrecho para garantizar la SNR deseada;
- en reposiciones de uso, es decir, al volver a apuntar, el haz de antena en el plano de elevación para cubrir el sector requerido (por ejemplo, que tiene una anchura de aproximadamente 1000 km) observando en serie diferentes áreas de N sub-sectores que son paralelos a la dirección del azimut, que son adyacentes o parcialmente solapantes y juntos forman el sector global requerido;
- usa una PRF de operación N veces mayor que la de un sistema de RAR convencional para obtener un número de ecos suficiente para garantizar la ganancia de integración requerida; y
- en uso implementa una técnica de agilidad de frecuencia para descorrelacionar la interferencia del mar; en particular, transmite, con la PRF de operación anteriormente mencionada, una serie de pulsos de radar, cada uno de los cuales ocupa una respectiva banda de frecuencia que está separada de las bandas de frecuencia ocupadas por los pulsos de radar transmitidos inmediatamente antes de dicho pulso de radar e inmediatamente después de dicho pulso de radar.

35 Adicionalmente, como se ha descrito anteriormente, en el pasado se ha propuesto también la posibilidad de usar un explorador en recepción con haz de antena estrecho, tal como por ejemplo en el caso del radar de apertura sintética parcial descrito en Ref1 y Ref2. En particular, el método de operación de dicho radar de apertura sintética parcial incluye:

- 40 1) transmisión de un pulso de radar usando un haz de antena ancho para iluminar la totalidad del sector de interés (que tiene una anchura de 1000 km) con una ganancia de antena baja; el pulso transmitido alcanza el área iluminada por el haz que se inicia desde el borde más cercano y a continuación se propaga hacia el borde más lejano; de la misma manera y con una temporización igual a la de la señal transmitida, la señal de eco retrodispersada desde la superficie del mar y/o desde el objetivo se propaga y se recibe por el radar;
- 45 2) la recepción de la señal de eco debido al pulso transmitido “n” en el tiempo que transcurre entre la transmisión del pulso “n” y la transmisión del siguiente pulso “n+1” (es decir, en la PRI que transcurre entre la transmisión del pulso n y la transmisión del pulso n+1); tiene lugar la recepción por medio de un haz estrecho con alta ganancia (en particular, P veces más estrecho que el usado en la transmisión, con $P \geq 5$), que cubre de manera instantánea únicamente una fracción del sector, y que por lo tanto debe seguir, por medio de una exploración en el plano de elevación, la señal de eco de acuerdo con cómo esta se retrodispersa durante la PRI; y
- 50 3) repetición de las operaciones descritas en los puntos 1) y 2) en cada PRI para todo el periodo de operación del radar.

Debería observarse a continuación que en la técnica propuesta en Ref1 y Ref2 la exploración en recepción se lleva a cabo en cada PRI, mientras que de acuerdo con la presente invención la exploración no se lleva a cabo en cada PRI sino que se lleva a cabo cada M PRI.

Adicionalmente, el radar de apertura sintética parcial descrito en Ref1 y Ref2 usa una PRF “baja” (en particular, 100 o 120 Hz) y un procesamiento coherente de tipo SAR (radar de apertura sintética) de las señales de eco recibidas. Todo esto conlleva la presencia de ambigüedades marcadas que se consideran, sin embargo, en Ref1 y Ref2, insignificantes en el proceso de detección de los objetivos. En Ref1 y Ref2, la única restricción impuesta en la PRF (que se destaca, es la recíproca de la PRI) es que debe ser suficientemente baja como para garantizar en cada adquisición de PRI del eco que proviene desde el sector observado. En Ref1 y Ref2 la temporización de la exploración del haz en recepción se lleva a cabo en cada PRI y por lo tanto no requiere restricciones en la PRF.

65 En su lugar, de acuerdo con la presente invención, la PRF (por ejemplo, 500 Hz) está restringida al número de posiciones de exploración (es decir, al número de sub-sectores) de tal manera que garantiza, en el tiempo asignado

para cada subsector de acuerdo con las reglas de temporización que se describirán en lo que sigue, un número suficiente de PRI y por lo tanto de pulsos necesarios para obtener la ganancia de integración requerida. Esta restricción no es necesaria en la técnica propuesta en Ref1 y Ref2 puesto que todo el sector está constantemente iluminado y todos los pulsos recibidos pueden integrarse.

5 Las diferencias anteriormente mencionadas entre el sistema de RAR de acuerdo con la presente invención y el radar de apertura sintética parcial descrito en Ref1 y Ref2 posibilitan a dicho sistema de RAR de acuerdo con la presente invención que garantice rendimiento más alto (en términos de SNR y SCR y por lo tanto de probabilidad de detección y probabilidad de falsa alarma) en comparación con aquellos del radar de apertura sintética parcial descrito en Ref1 y Ref2.

15 Finalmente, debería destacarse que, puesto que el radar descrito en Ref3 realiza adquisiciones de muestra de áreas discretas de la superficie de la Tierra para hacer mediciones volumétricas de muestra, evidentemente no puede usarse para fines de vigilancia marítima, el objetivo de la cual es identificar objetivos a través de un área muy extensa de mar haciendo mediciones de superficie. En cualquier caso, se pretende en este punto señalar que el mecanismo de exploración y los fines de la exploración descritos en Ref3 son completamente diferentes de aquellos de la presente invención.

20 En lo que sigue, por simplicidad de descripción, el sistema de RAR de acuerdo con la presente invención se denominará en ocasiones sistema SCANRAR para destacar la característica de operación de dicho sistema de RAR de volver a apuntar el haz de antena en el plano de elevación de tal manera para hacer una exploración del sector global iluminando, de manera selectiva y en serie, N subsectores adyacentes o parcialmente solapantes.

25 Para un mejor entendimiento de la presente invención, la Figura 2 es una ilustración esquemática de un ejemplo de la lógica de operación de un sistema SCANRAR de acuerdo con la presente invención.

30 En particular, en el ejemplo ilustrado en la Figura 2 el sistema de SCANRAR vuelve a apuntar el haz de antena en el plano de elevación para ejecutar una exploración de un sector global de más de 1000 km iluminando, de manera selectiva y en serie, diferentes áreas de $N=5$ subsectores parcialmente solapantes, cada uno de los cuales tiene una anchura mayor de 200 km.

35 En detalle, la Figura 2 (donde el sistema de referencia cartesiano usado corresponde sustancialmente al previamente introducido en la Figura 1) muestra un satélite 20 que está equipado con un sensor de RAR (no ilustrado en la Figura 2 por simplicidad de ilustración) y que se mueve en una dirección de vuelo d que identifica en la superficie de la Tierra la dirección del azimut x . En el ejemplo ilustrado en la Figura 2, el sensor de RAR transmite, con una PRF de operación predefinida (por ejemplo, 500 Hz), pulsos de radar cada uno con un respectivo ángulo de elevación para iluminar, de manera selectiva y en serie, diferentes áreas de $N=5$ sub-sectores paralelos a la dirección del azimut x y solapando parcialmente, cada uno de los cuales tiene una anchura W_i (con $i=1, 2, 3, 4, 5$) mayor de 200 km perpendicularmente a la dirección del azimut x (es decir, paralelamente a la dirección de rastreo transversal y). De esta manera, el sensor de RAR a bordo del satélite 20 gestiona para observar un sector global que tiene una anchura W_{TOT} de más de 1000 km perpendicularmente a la dirección del azimut x (es decir, paralelamente a la dirección de rastreo transversal y).

45 Entrando en detalle adicional, el sensor de RAR a bordo del satélite 20 lleva a cabo una serie de operaciones de transmisión y recepción de radar, cada una de las cuales incluye:

- transmisión de un pulso de radar en una respectiva dirección de señalamiento usando un haz de antena "estrecho", es decir, con alta ganancia, para iluminar un área correspondiente de la superficie de la Tierra con dicho pulso de radar transmitido; y
- recepción, en la dirección de señalamiento, de la señal de eco que corresponde a dicho pulso de radar transmitido (es decir, retrodispersado desde el área iluminada) usando un haz de antena que tiene las mismas características que el usado en transmisión para tener una ganancia de antena alta también en recepción.

Las direcciones de señalamiento usadas por el sensor de RAR a bordo del satélite 20 forman:

- 55 • todas sustancialmente uno y el mismo error de directividad, de manera convencional un ángulo recto, con la dirección de vuelo d ; y
- cada una un respectivo ángulo de elevación con la dirección del nadir z .

60 En el ejemplo ilustrado en la Figura 2, los ángulos en elevación usados por el sensor de RAR a bordo del satélite 20 son cinco (en general N), cada uno de los cuales corresponde a uno de los $N=5$ sub-sectores a observar.

65 En particular, el sensor de RAR a bordo del satélite 20 en uso transmite una serie de M pulsos de radar (donde M es un número entero mayor de dos, preferentemente mayor de N), cambiando, al final de cada serie de M pulsos, el ángulo de elevación usado de tal manera para iluminar, de manera selectiva y en serie, áreas parcialmente solapantes de los cinco sub-sectores a observarse.

Específicamente, en el ejemplo ilustrado en la Figura 2, el sensor de RAR a bordo del satélite 20, durante el desplazamiento en la dirección de vuelo d , observa (es decir, ilumina con una respectiva serie de M pulsos de radar, y recibe los correspondientes ecos desde):

- 5 • una primera área del subsector designado en la Figura 2 en 1 usando, en el señalamiento de la antena, un primer ángulo de elevación que corresponde a dicho subsector 1;
- una primera área del subsector designado en la Figura 2 en 2 usando, en el señalamiento de la antena, un segundo ángulo de elevación que corresponde a dicho subsector 2, dicha primera área del subsector 2 solapando parcialmente con la primera área anteriormente mencionada del subsector 1;
- 10 • una primera área del subsector designado en la Figura 2 en 3 usando, en el señalamiento de la antena, un tercer ángulo de elevación que corresponde a dicho subsector 3, dicha primera área del subsector 3 solapando parcialmente con la primera área anteriormente mencionada del subsector 2;
- una primera área del subsector designado en la Figura 2 en 4 usando, en el señalamiento de la antena, un cuarto ángulo de elevación que corresponde a dicho subsector 4, dicha primera área del subsector 4 solapando parcialmente con la primera área anteriormente mencionada del subsector 3;
- 15 • una primera área del subsector designado en la Figura 2 en 5 usando, en el señalamiento de la antena, un quinto ángulo de elevación que corresponde a dicho subsector 5, dicha primera área del subsector 5 solapando parcialmente con la primera área anteriormente mencionada del subsector 4;
- una segunda área del subsector 1 usando, en el señalamiento de la antena, de nuevo el primer ángulo de elevación, dicha segunda área del subsector 1 solapando parcialmente con la primera área anteriormente mencionada del subsector 1;
- 20 • una segunda área del subsector 2 usando, en el señalamiento de la antena, de nuevo el segundo ángulo de elevación, dicho segundo área del subsector 2 solapando parcialmente con el segundo área anteriormente mencionada del subsector 1 y solapando parcialmente con la primera área anteriormente mencionada del subsector 2;
- 25 • y así sucesivamente.

Debería destacarse que el esquema de exploración cíclico en elevación de los cinco sub-sectores anteriormente descrito es simplemente un ejemplo de las diferentes estrategias de la exploración cíclica en elevación que pueden adoptarse. De hecho, debería señalarse que el sistema SCANRAR de acuerdo con la presente invención puede usar de manera conveniente cualquier esquema predefinido de exploración cíclica de los N sub-sectores.

Preferentemente, el sensor de RAR a bordo del satélite 20 en uso implementa agilidad de frecuencia de la siguiente manera:

- 35 • para cada i ésimo subsector (con $i=1, 2, 3, 4, 5$), el sensor de RAR transmite en serie M respectivos pulsos de radar hacia dicho subsector;
- todos los pulsos de radar transmitidos por el sensor de RAR tienen uno y el mismo ancho de banda predefinido;
- cada uno de los M pulsos de radar transmitidos en serie por el sensor de RAR hacia uno y el mismo subsector ocupa una respectiva banda de frecuencia que tiene dicho ancho de banda predefinido y se identifica por una respectiva frecuencia de referencia (por ejemplo, la frecuencia inicial o central) que está separada, de las frecuencias de referencia de los pulsos de radar transmitidos inmediatamente antes e inmediatamente después, por un primer salto de frecuencia que es ligeramente mayor que el ancho de banda predefinido anteriormente mencionado y es menor que el salto de frecuencia que provoca la descorrelación de un posible objetivo presente en la escena observada;
- 45 • el sensor de RAR, para cada i ésimo subsector (con $i=1, 2, 3, 4, 5$), selecciona las frecuencias de referencia de los M respectivos pulsos de radar transmitidos en serie hacia dicho subsector alrededor de una respectiva frecuencia de transmisión central; y
- el sensor de RAR usa, para cada i ésimo subsector (con $i=1, 2, 3, 4, 5$), una respectiva frecuencia de transmisión central que está separada, de las frecuencias de transmisión central usadas para los otros sub-sectores, en un segundo salto de frecuencia que es mayor que el primer salto de frecuencia (de manera conveniente, es N veces mayor que el ancho de banda predefinido anteriormente mencionado) para reducir los efectos de las ambigüedades entre los diferentes sub-sectores.

El sistema SCANRAR de acuerdo con la presente invención posibilita la mejora, en comparación con un sistema convencional, de la señal útil en un factor de $10\log(N)$ tanto en transmisión como en recepción. Por ejemplo, en el caso ilustrado en la Figura 2, la ganancia mejora en un factor de 14 dB.

Adicionalmente, el método de operación del sistema SCANRAR de acuerdo con la presente invención no exige el desarrollo de nuevo hardware, puesto que es posible usar el hardware ya usado en sistemas SAR actuales que operan en el denominado modo SCANSAR.

Un elemento clave de un sistema RAR es la ganancia de integración IG obtenida añadiendo un cierto número de ecos para aumentar la SNR y la SCR. La ganancia de integración IG requiere, para todos los ecos a añadirse juntos, que:

- 65 • el objetivo debería permanecer coherente; y
- la interferencia debería estar descorrelacionada.

El tiempo de correlación T_{corr} de la interferencia del mar depende de la frecuencia usada por el radar. En la banda X, este tiempo es aproximadamente 20 ms. Esto implica que la PRF máxima tenga para tener descorrelación de la interferencia del mar entre un pulso y otro sea:

$$PRF = \frac{1}{T_{corr}} = 50 \text{ Hz} .$$

5 En consecuencia, el uso de una PRF de operación de 500 Hz reduce la ganancia de integración IG en aproximadamente 10 dB, es decir, $10\log(500/50)$.

10 El uso de agilidad de frecuencia desde un pulso al siguiente por lo tanto sirve para descorrelacionar la interferencia del mar, con la condición de que el salto de frecuencia entre sucesivos pulsos sea mayor que la banda del pulso transmitido y menor que el salto de frecuencia que provoca la descorrelación también del objetivo.

15 Como se ha descrito anteriormente, el sistema SCANRAR de acuerdo con la presente invención obtiene la señal de eco desde el sector observando, de manera selectiva y cíclica, N sub-sectores, es decir, llevando a cabo, en transmisión y recepción, una exploración de los haces de antena en el plano de elevación de acuerdo con un esquema de exploración cíclico predefinido.

20 De manera conveniente, los subsectores solapan parcialmente en los bordes para garantizar cobertura, sin ninguna discontinuidad, en una dirección perpendicular a la dirección del azimut x, es decir, paralela a la dirección de rastreo transversal y. El tiempo en el que se observa cada subsector se define de tal manera para garantizar cobertura continua en la dirección del azimut x.

La PRF de operación se elige de tal manera para evitar retornos ambiguos en el rango. En particular, el valor de la PRF de operación se define de manera conveniente de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$PRF \leq \frac{c}{2W_{SSW}} \quad (1)$$

25 donde c es la velocidad de la luz y W_{SSW} es la anchura del subsector perpendicularmente a la dirección del azimut x, es decir, paralelamente a la dirección de rastreo transversal y.

30 El tiempo de integración (es decir, el tiempo en el que el sistema SCANRAR transmite a, y recibe desde, uno y el mismo subsector) se define para evitar cualquier discontinuidad de cobertura en la dirección del azimut. La elección de los valores se realiza de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$TF_j = TD_j + TR_j , \quad \forall j \quad (2)$$

35 donde j es el subsector considerado (donde j está comprendido entre 1 y N) , TF_j es el tiempo total en el que podría observarse un objetivo similar a punto si no se realizara exploración, TD_j es el "tiempo de permanencia" o tiempo de observación de cada subsector, y TR_j es el "tiempo de retorno" o tiempo requerido para evitar cualquier discontinuidad de observación en la dirección del azimut x en cada único subsector.

40 El tiempo TF_j en el que un objetivo similar a punto podría observarse si no se realizara exploración puede calcularse basándose en la siguiente ecuación:

$$TF_j = \frac{0,88\lambda R_j}{v_{gi}L} \quad (3)$$

45 donde v_{gi} es la velocidad del haz en la superficie de la Tierra a una distancia ("rango de inclinación") R_j de la antena del sistema SCANRAR, λ es la longitud de onda usada, y L es la longitud de la antena del sistema SCANRAR en una dirección paralela a la dirección de vuelo d, es decir, a la dirección del azimut x.

50 Como se ha descrito anteriormente, la ganancia de integración IG requiere, para el número de ecos a añadirse juntos, que:

- el objetivo debería permanecer coherente; y
- la interferencia debería estar descorrelacionada.

55 Para mejorar la relación de señal a ruido SNR, debería añadirse juntos un gran número de ecos; esto implica un valor alto para la PRF. El tiempo de correlación T_{corr} de la interferencia del mar depende de la frecuencia usada. En la banda X, este tiempo es aproximadamente 20 ms. Esto implica que la máxima frecuencia de repetición de pulso

PRF_{MAX} que garantiza la descorrelación de la interferencia del mar se proporciona por la siguiente ecuación:

$$PRF_{MAX} = \frac{1}{T_{corr}} \quad (4)$$

- 5 Por ejemplo, en la banda X la máxima PRF que garantiza la descorrelación de la interferencia del mar es igual a 50 Hz. El uso de PRF superiores (según se requiere para mejorar la SNR) reduciría el factor IG en una pérdida de término igual a:

$$Pérdida = 10 \log(PRF \cdot T_{corr}) \quad (5)$$

- 10 El uso de agilidad de frecuencia descorrelaciona la interferencia del mar suponiendo que el salto de frecuencia es mayor que la banda del pulso transmitido y menor que el salto de frecuencia que provoca la descorrelación del mismo objetivo. Una estimación empírica de la mínima frecuencia f_{decorr} que provoca la descorrelación del objetivo puede hacerse usando la siguiente ecuación:

$$f_{decorr} \geq \frac{c}{2D} \quad (6)$$

- 15 donde c es la velocidad de la luz, y D es el tamaño del objetivo genérico que se ha de detectar.

El número N_{freq} de saltos de frecuencia a usarse antes de retornar al valor inicial se proporciona mediante la siguiente ecuación:

$$N_{freq} = T_{corr} \cdot PRF \quad (7)$$

- 25 Las restricciones previamente definidas en la temporización garantizan de manera simultánea la continuidad de la cobertura en la dirección del azimut y la finalización del ciclo de exploración para todo el sector de interés. En particular, dichas restricciones en la temporización del ciclo de exploración garantizan el sistema SCANRAR una cobertura continua en la dirección del azimut, provocando, en cada ciclo de exploración, el haz de antena que corresponde al íesimo subsector para iluminar un área que, en la dirección del azimut, solapa parcialmente con la iluminada en el ciclo de exploración anterior.

- 30 Se ilustra en la Figura 3 es un diagrama de bloques funcional que representa una arquitectura funcional proporcionada a modo de ejemplo de un sistema de RAR monoestático (designada como una totalidad por 30) de acuerdo con una realización preferida de la presente invención.

- 35 En particular, como se ilustra en la Figura 3, el sistema de RAR 30 incluye principalmente dos subsistemas: una electrónica de radar 31 y una antena electrónicamente orientable 32.

En detalle, la electrónica del radar 31 está configurada para:

- 40 • gestionar y controlar todo el sistema de RAR 30 (por ejemplo, como se ilustra en la Figura 3, por medio de una unidad de control 311);
- sincronizar las operaciones ejecutadas (por ejemplo, como se ilustra en la Figura 3, por medio de un módulo de control de referencia de tiempo 312);
- generar los pulsos de radar a transmitirse (las denominadas "señales de fluctuación de banda base") (por ejemplo, como se ilustra en la Figura 3, por medio de un generador de pulsos 313);
- 45 • generar las frecuencias de referencia para transmisión (por ejemplo, como se ilustra en la Figura 3, por medio de un módulo de generación de señal de referencia 314);
- desplazar en frecuencia los pulsos a transmitirse para proporcionarlos desde la banda base a las frecuencias de transmisión (amplificándolos de manera conveniente y filtrándolos) (por ejemplo, como se ilustra en la Figura 3, por medio de un denominado "módulo de conversión ascendente" 315);
- 50 • desplazar en frecuencia las señales de eco de frecuencia de radio (RF) recibidas por la antena 32 para proporcionarlas desde las frecuencias de recepción a banda base (amplificándolas de manera conveniente y filtrándolas) (por ejemplo, como se ilustra en la Figura 3, por medio de un denominado "módulo de conversión descendente" 316); y
- realizar una conversión de analógico a digital de las señales de eco recibidas y llevarlas a banda base y manejar los datos (comprimiéndolos de manera conveniente y formateándolos) (por ejemplo, como se ilustra en la Figura 3, por medio de un módulo de digitalización y gestión de datos 317).

Adicionalmente, la antena electrónicamente orientable 32 está configurada para:

- sintetizar, en transmisión y recepción, los haces de antena deseados, es decir, generar el haz de antenas con la forma deseada, señalamiento y ganancia (por ejemplo, como se ilustra en la Figura 3, por medio de una red de distribución y formación de haces 321);
 - llevar a cabo exploración del haz de antena en el plano de elevación;
- 5 • realizar amplificación de potencia de las señales a transmitirse (por ejemplo, como se ilustra en la Figura 3, mediante los medios de amplificación de potencia 322);
- realizar amplificación con figura de bajo ruido de las señales de eco recibidas (por ejemplo, como se ilustra en la Figura 3, mediante los medios de amplificación con figura de bajo ruido 323); y
 - radiar las señales a transmitirse y recibir las señales de eco (por ejemplo, como se ilustra en la Figura 3, mediante los medios transceptores de espacio libre 324).
- 10

De manera conveniente, el sistema de RAR 30 puede obtenerse aprovechando el hardware convencional de un sistema de SAR que opera en modo SCANSAR y que emplea un generador de pulsos programable.

- 15 Los elementos principales del sistema de RAR 30 son el generador de pulsos 313 y la antena electrónicamente orientable 32.

El generador de pulsos 313 en uso genera las formas de onda (pulsos) para transmitirse con las características requeridas por la aplicación. En particular, cada pulso de radar generado en uso por el generador de pulsos 313 tiene una duración respectiva (predefinida) y ocupa una banda de frecuencia respectiva (predefinida) identificada por una frecuencia de referencia (para agilidad de frecuencia) respectiva (predefinida).

20

El generador de pulsos 313 puede obtenerse de manera conveniente usando cualquiera de las tecnologías analógicas, por ejemplo usando dispositivos de onda acústica superficial (SAW), o tecnologías digitales, por ejemplo arquitecturas de un tipo MRO (Lectura de Memoria) o de un tipo DDS (Síntesis Digital Directa).

25

Preferentemente, el generador de pulsos 313 está basado en una arquitectura DDS. De hecho, esta solución optimiza la elección de los parámetros de forma de onda (duración, banda, frecuencia de inicio), garantizando la máxima flexibilidad para agilidad de frecuencia.

30

La antena 32 puede obtenerse de manera conveniente usando:

- un denominado "conjunto en fase" de un tipo activo; o de otra manera
 - un reflector iluminado por
- un conjunto, o agrupación de alimentaciones con amplificación de potencia concentradas en un único dispositivo, o
- 35 - una serie de alimentación activa.

A partir de la descripción anterior, las ventajas de la presente invención son inmediatamente evidentes.

En particular, debería destacarse que el sistema de RAR y el correspondiente método de operación de acuerdo con la presente invención posibilitan que se observen sectores muy extensos, en particular sectores que tienen una anchura del orden de aproximadamente 1000 km, con una resolución espacial del orden de decenas de metros, o, en cualquier caso, con una resolución espacial comparable con las dimensiones de los objetivos que se han de detectar, en particular embarcaciones. En consecuencia, la presente invención halla ventaja, aunque no exclusivamente, en aplicación en vigilancia marítima.

40

45

REIVINDICACIONES

1. Un método de operación de un sistema de radar de apertura real (30) para vigilancia de la superficie de la Tierra, estando instalado dicho sistema de radar de apertura real (30) en un vehículo/plataforma espacial (20) que se mueve en una dirección de vuelo y que comprende una antena transceptora (32), o una antena de transmisión y una antena de recepción, que es/son electrónicamente orientables; comprendiendo el método:
- a) transmitir, mediante la antena transceptora/de transmisión (32), una serie de M pulsos de radar hacia un sector de la superficie de la Tierra paralelo a la dirección de vuelo usando un haz de antena apuntado a dicho sector, en el que M es un número entero mayor que dos;
- b) para cada uno de los M pulsos de radar transmitidos, recibir, mediante la antena transceptora/de recepción (32), una correspondiente señal de eco durante el intervalo de tiempo que transcurre entre la transmisión de dicho pulso de radar y la transmisión del siguiente pulso de radar usando el mismo haz de antena que el usado para transmitir los M pulsos de radar;
- c) llevar a cabo ciclos de exploración de elevación, en el que cada ciclo de exploración de elevación se lleva a cabo repitiendo N veces las operaciones a) y b) y cambiando electrónicamente, cada vez, la dirección de señalamiento en elevación del haz de antena de modo que, en cada ciclo de exploración de elevación, los pulsos de radar se transmiten hacia, y las señales de eco se reciben desde, N sectores de la superficie de la Tierra que son paralelos a la dirección de vuelo y son adyacentes o parcialmente solapantes, en el que N es un número entero mayor que uno; en el que todos los pulsos de radar se transmiten:
- con una frecuencia de repetición de pulso predefinida y una temporización predefinida del ciclo de exploración de tal manera para garantizar una cobertura completa de cada uno de los N sectores paralelamente a la dirección de vuelo; y
 - usando una técnica de agilidad de frecuencia;
- en el que todos los pulsos de radar transmitidos tienen uno y el mismo ancho de banda predefinido; en el que los M pulsos de radar transmitidos, en un ciclo de exploración de elevación, hacia uno y el mismo sector ocupan, cada uno, una respectiva banda de frecuencia que tiene dicho ancho de banda predefinido y se identifica por una frecuencia de referencia respectiva que está separada, de las frecuencias de referencia de los pulsos de radar transmitidos inmediatamente antes e inmediatamente después, por un primer salto de frecuencia;
- en el que dicho primer salto de frecuencia es mayor que dicho ancho de banda predefinido y es menor que un valor que:
- indica el salto de frecuencia mínimo que provoca una descorrelación de un objetivo iluminado por dos pulsos de radar sucesivos que tienen frecuencias de referencia separadas por al menos dicho salto de frecuencia mínimo; y
 - está relacionado a un tamaño de referencia de un objetivo genérico a detectarse por el sistema de radar de apertura real (30);
- en el que las frecuencias de referencia de los M pulsos de radar transmitidos, en un ciclo de exploración de elevación, hacia uno y el mismo sector se seleccionan alrededor de una y la misma frecuencia de transmisión central; y en el que en cada ciclo de exploración de elevación se usa una respectiva frecuencia de transmisión central para cada sector, respectiva frecuencia de transmisión central que está separada, de las frecuencias de transmisión central usadas en dicho ciclo de exploración de elevación para los otros sectores, por un segundo salto de frecuencia que es mayor que el primer salto de frecuencia.
2. El método de la reivindicación 1, en el que el segundo salto de frecuencia es mayor en un factor de hasta N que el ancho de banda predefinido.
3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la dirección de señalamiento del haz de antena se define por un ángulo de elevación con respecto al nadir del sistema de radar de apertura real (30) y mediante un error de directividad con respecto a la dirección de vuelo; y en el que cada ciclo de exploración de elevación se lleva a cabo repitiendo N veces las operaciones a) y b), cambiando electrónicamente, cada vez, el ángulo de elevación y manteniendo el error de directividad constante.
4. El método de acuerdo con cualquier reivindicación 1-3, en el que la frecuencia de repetición de pulso predefinida es:
- mayor que un primer valor que indica la frecuencia de repetición de pulso máxima que garantiza una descorrelación de la interferencia; y
 - menor que, o igual a, un segundo valor relacionado con una anchura de los N sectores perpendicularmente a la dirección de vuelo.
5. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la frecuencia de repetición de pulso predefinida es 500 Hz.
6. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que M es un número entero mayor que N.
7. Un sistema de radar de apertura real (30) para vigilancia de la superficie de la Tierra, que:
- está diseñado para instalarse en un vehículo/plataforma espacial (20);

- comprende una antena transceptora (32), o una antena de transmisión y una antena de recepción, que es/son electrónicamente orientables; y
 - está configurado para llevar a cabo el método de operación reivindicado en cualquier reivindicación anterior.
- 5 8. Un satélite (20) que comprende el sistema de radar de apertura real (30) reivindicado en la reivindicación 7.
9. Un vehículo espacial que comprende el sistema de radar de apertura real (30) reivindicado en la reivindicación 7.

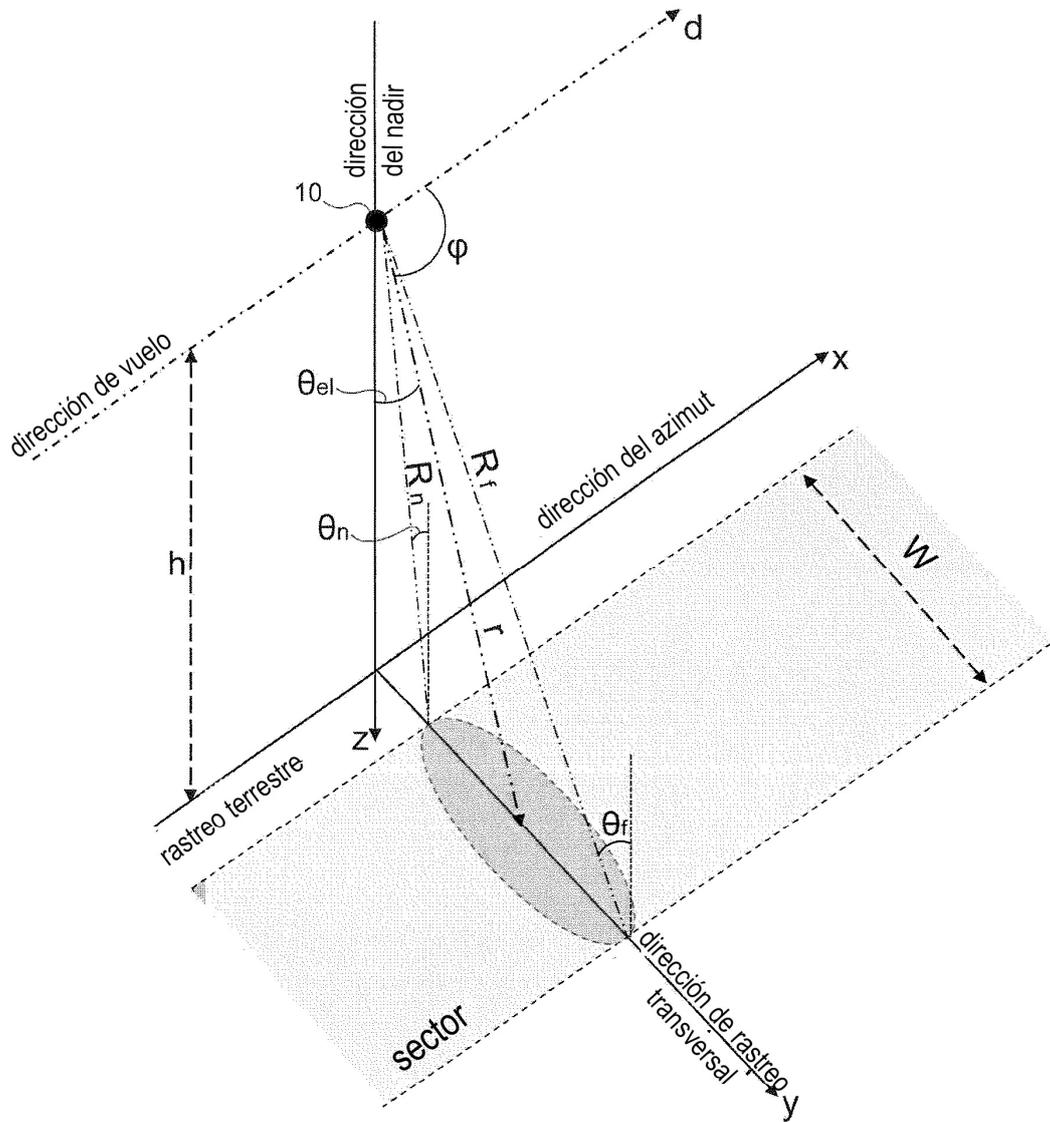


FIG. 1

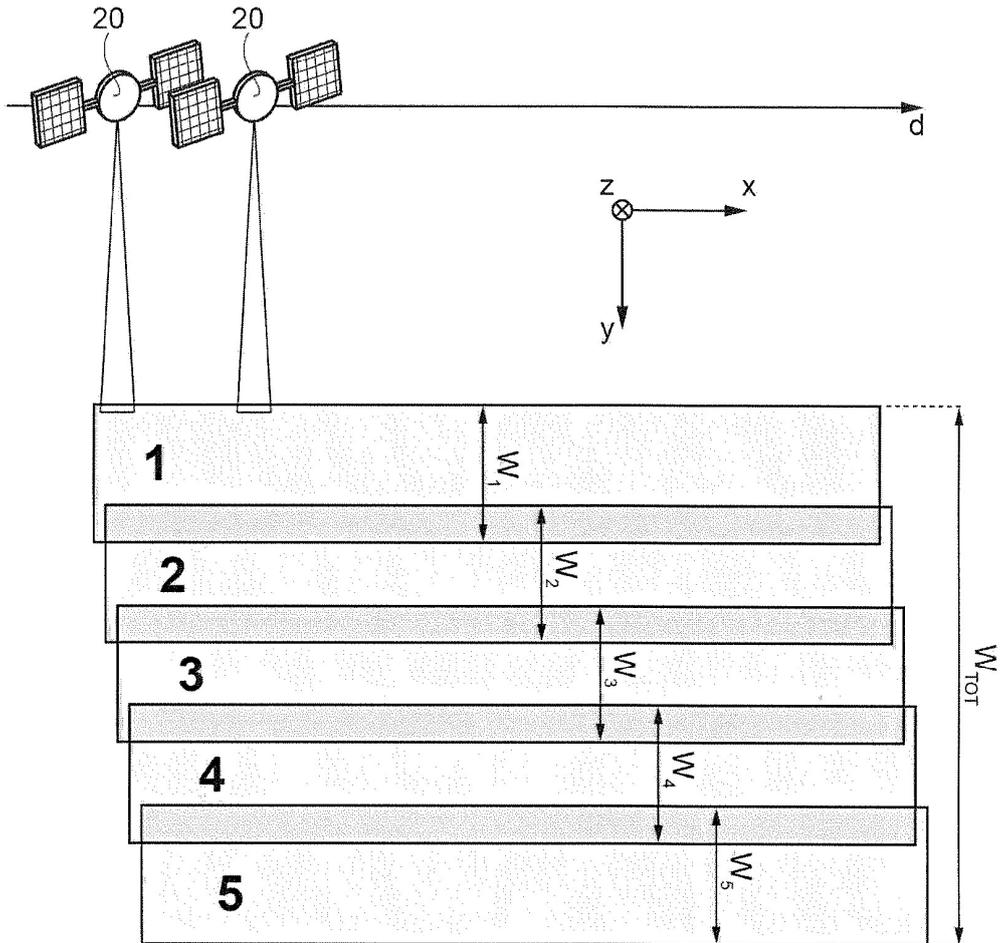


FIG. 2

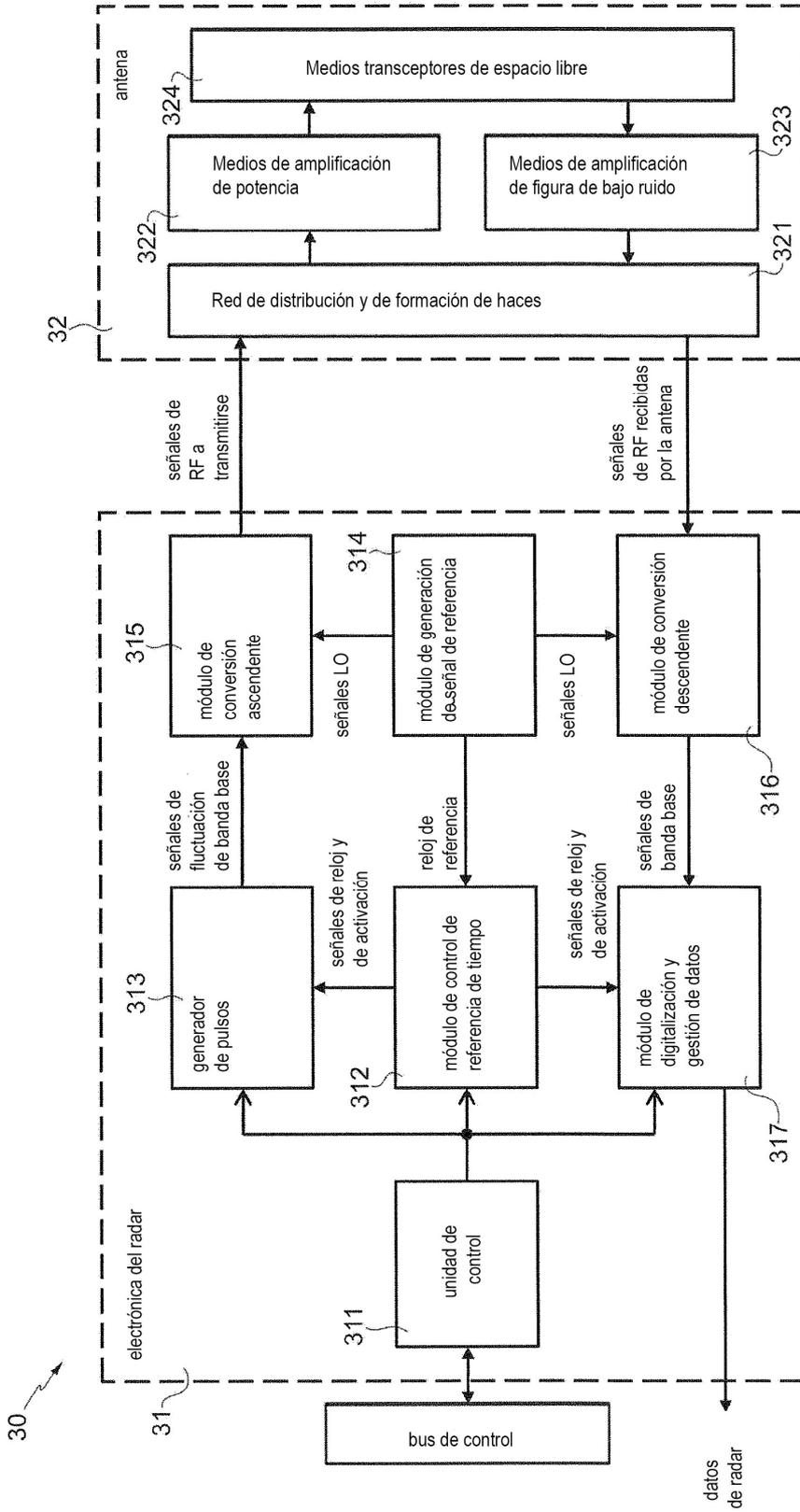


FIG. 3