

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 673 919**

51 Int. Cl.:

G01S 13/90 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.02.2014 PCT/IB2014/058873**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.08.2014 WO14122625**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.02.2014 E 14714335 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018 EP 2956795**

54 Título: **Obtención de imágenes de SAR de mapa de franjas de múltiples zonas exploradas**

30 Prioridad:

08.02.2013 IT TO20130108

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

26.06.2018

73 Titular/es:

**THALES ALENIA SPACE ITALIA S.P.A. CON
UNICO SOCIO (100.0%)**

**Via Saccomuro, 24
Roma, IT**

72 Inventor/es:

CALABRESE, DIEGO

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 673 919 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

Obtención de imágenes de SAR de mapa de franjas de múltiples zonas exploradas

Campo técnico de invención

5 La presente invención se refiere a la detección remota por medio de radar de apertura sintética (SAR) en general y, en particular, a un método innovador para la obtención de imágenes de SAR de mapa de franjas (*stripmap*) de múltiples zonas exploradas.

Estado de la técnica

10 En la figura 1 se muestra una geometría de referencia típica para generar imágenes de SAR de la superficie terrestre. Con respecto a esto, se desea subrayar el hecho de que en la figura 1 (y también en las siguientes figuras que se presentarán y describirán a continuación en el presente documento), la superficie terrestre se muestra (y se mostrará) "plana" solo por motivos de conveniencia y simplicidad de ilustración y descripción, sin pérdida de generalidad.

15 En particular, la figura 1 muestra esquemáticamente un radar de apertura sintética (denominado a continuación en el presente documento un sensor de SAR, por motivos de simplicidad de descripción) 10 que se mueve a lo largo de una dirección de vuelo d a una altitud h (con respecto a la superficie terrestre) que se supone que son sustancialmente constantes. Tal como se conoce, la altitud h del sensor de SAR 10 se mide a lo largo de una dirección de nadir z que pasa a través de dicho sensor de SAR 10 (en particular, pasa a través del centro de fase de la antena del sensor de SAR 10) y es ortogonal a la superficie terrestre y la dirección de vuelo d . De manera conveniente, el sensor de SAR 10 se transporta en vuelo/órbita por una plataforma aérea/espacial (no mostrada en la figura 1 por motivos de simplicidad de ilustración), tal como, por ejemplo, una aeronave o un vehículo aéreo no tripulado (VANT) o un satélite. La trayectoria en tierra de la dirección de vuelo d identifica una dirección acimutal x que es paralela a dicha dirección de vuelo d y ortogonal a la dirección de nadir z , mientras que una dirección de trayectoria transversal y , que es ortogonal tanto a la dirección de nadir z como a la dirección acimutal x , junto con la dirección acimutal x , identifica un plano x - y tangencial a la superficie terrestre. En uso, por medio de una antena oportuna (no mostrada en la figura 1 por motivos de simplicidad de ilustración), el sensor de SAR 10 transmite impulsos de radar y recibe las señales retrodispersadas asociadas en una dirección de adquisición sr que identifica la distancia oblicua y que forma un ángulo de elevación θ con el dirección de nadir z y un ángulo de conmutación de lóbulo φ con la dirección de vuelo d (o, de manera equivalente, con la dirección acimutal x) que, en la geometría de adquisición de SAR mostrada en la figura 1, es igual a 90° .

20 En particular, la geometría de adquisición de SAR mostrada en la figura 1 considera el denominado modo de mapa de franjas (*stripmap*), en el que el sensor de SAR 10 ilumina una franja de la superficie terrestre, conocida como zona explorada, con impulsos de radar y luego recibe las señales retrodispersadas asociadas desde la misma, extendiéndose dicha zona explorada principalmente en paralelo a la dirección acimutal x y teniendo una anchura dada W a lo largo de la dirección de trayectoria transversal y . Para mayor claridad, la figura 2 muestra la geometría de adquisición de SAR en modo de mapa de franjas en el plano x - y , donde es posible observar cómo los ángulos de conmutación de lóbulo θ son todos iguales (en particular, en el ejemplo mostrado en la figura 2, los ángulos de conmutación de lóbulo θ son todos ángulos rectos).

25 La tecnología de SAR puede considerarse una tecnología consolidada. De hecho, en la actualidad hay incontables artículos, manuales, patentes y solicitudes de patente que describen las características y el potencial de la misma; con respecto a esto, puede hacerse referencia a:

- el artículo de Josef Mittermayer *et al.* titulado "Bidirectional SAR Imaging Mode", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 51, n.º 1, 1 de enero de 2013, páginas 601-614, que se indicará a continuación en el presente documento, por motivos de simplicidad de descripción, como Ref1 y que describe un modo para crear imágenes de SAR bidireccionales;
- 45 • la solicitud de patente alemana DE 103 19 063 A1, que se indicará a continuación en el presente documento, por motivos de simplicidad de descripción, como Ref2 y que se refiere a un método y un sistema de antena de SAR que tiene una pluralidad de elementos de antena para generar múltiples haces de SAR;
- 50 • el artículo de A. Currie *et al.* titulado "Wide-swath SAR", IEE Proceedings of Radar and Signal Processing, vol. 139, n.º 2, 1 de abril de 1992, páginas 122-135, que se indicará a continuación en el presente documento, por motivos de simplicidad de descripción, como Ref3 y que describe diversos métodos para ampliar la zona explorada observable a través de un SAR;
- 55 • el artículo de G. Krieger *et al.* titulado "Advanced Concepts for High-Resolution Wide-Swath SAR Imaging", 8th European Conference on Synthetic Aperture Radar, 7 de junio de 2010, páginas 524-527, que se indicará a continuación en el presente documento, por motivos de simplicidad de descripción, como Ref4 y que presenta diversos conceptos en cuanto a sistemas de SAR de múltiples canales para crear imágenes

de SAR de zona explorada amplia de alta resolución;

- el libro de J. C. Curlander y R. N. McDonough titulado "Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing", Wiley Series in Remote Sensing, Wiley-Interscience, 1991, que se indicará a continuación en el presente documento, por motivos de simplicidad de descripción, como Ref5 y que es un manual sobre sistemas de SAR; y
- el libro de G. Franceschetti y R. Lanari titulado "Synthetic Aperture Radar Processing", CRC Press, marzo de 1999, que se indicará a continuación en el presente documento, por motivos de simplicidad de descripción, como Ref6 y que es otro manual sobre sistemas de SAR.

Tal como se conoce, la resolución acimutal para una adquisición de SAR en modo de mapa de franjas es una función de la apertura angular (o diferencia angular – delta de ángulo) con la que el sensor de SAR observa un objetivo; o, de manera equivalente, la resolución acimutal también puede considerarse una función de la diferencia de tiempo (delta de tiempo), en relación con la velocidad del sensor de SAR, con la que se observa el objetivo. En particular, la resolución acimutal puede expresarse mediante la siguiente ecuación (para más detalles, remítase a Ref3, Ref5 y Ref6):

$$res = \frac{0,886\lambda}{2 * \text{delta_ángulo}}$$

donde res indica la resolución acimutal, λ indica la longitud de onda usada por el sensor de SAR y delta_ángulo indica la apertura angular (o diferencia angular - delta de ángulo) con la que el sensor de SAR observa el objetivo.

Suponiendo el ángulo como una apertura de 3 dB (unidireccional) de la antena ($= 0,886\lambda/L$, donde L indica la longitud física o equivalente a lo largo de la dirección acimutal de la antena del sensor de SAR), puede obtenerse la restricción asociada tradicionalmente con la resolución acimutal para el modo de mapa de franjas, que es igual a L/2 (para más detalles, remítase a Ref3, Ref5 y Ref6).

Actualmente, se usan haces de antena muy anchos para mejorar la resolución acimutal, lográndose estos a través del uso de antenas de pequeño tamaño o con poca iluminación y con modulación de fase y/o amplitud tal como para reducir el tamaño equivalente, o mediante el uso del denominado modo de luz concentrada, cuya lógica de adquisición se ilustra esquemáticamente en la figura 3.

En particular, tal como se muestra en la figura 3, la lógica de adquisición de SAR en modo de luz concentrada prevé el uso de una orientación continua, o casi continua, del haz de antena durante el movimiento de vuelo del sensor de SAR 10 (ajustando dinámicamente el valor del ángulo de conmutación de lóbulo θ) para iluminar una misma área de interés con los impulsos de radar y luego recibir las señales retrodispersadas asociadas desde la misma, aumentando de este modo el tiempo de persistencia del sensor de SAR 10 en dicha área de interés y, por tanto, mejorando la resolución acimutal.

Ambas metodologías indicadas anteriormente para mejorar la resolución acimutal adolecen de algunos inconvenientes. En particular, el uso de un haz de antenas muy ancho requiere usar potencias de transmisión muy altas, mientras que el modo de luz concentrada introduce limitaciones sobre la longitud acimutal de las zonas exploradas.

Tal como se indica en la bibliografía, existen relaciones matemáticas que relacionan los parámetros de los modos de funcionamiento. En particular, el muestreo acimutal dicta que la frecuencia de repetición de impulsos (PRF) de transmisión/recepción está relacionada con el tamaño del haz y con la velocidad del sensor de SAR (para más detalles, remítase a Ref3, Ref5 y Ref6):

$$PRF > \frac{2\alpha v}{L}$$

donde α es un parámetro que depende del nivel deseado de ambigüedad, v indica la velocidad del sensor de SAR y L indica la longitud física o equivalente a lo largo de la dirección acimutal de la antena del sensor de SAR.

El valor de PRF limita la extensión del área medida (zona explorada) en alcance (para más detalles, remítase a Ref3, Ref5 y Ref6):

$$\Delta R < \left(\frac{1}{PRF} - 2\tau \right) \frac{c}{2}$$

donde ΔR indica la extensión del área medida (zona explorada) en alcance, τ indica el intervalo de tiempo (o duración) del impulso transmitido y c indica la velocidad de la luz.

Con el fin de aprovechar las capacidades de un sistema de SAR al máximo, además de los modos de mapa de franjas y de luz concentrada, se han propuesto otras técnicas diversas a lo largo de los años para usar sensores de SAR, que pueden agruparse en tres modos principales:

- modo de ráfaga;
- 5 • modo de división de espacio; y
- modo de división de ángulo.

El principal modo de ráfaga es el modo *ScanSAR* (SAR de exploración), que divide el tiempo en ráfagas síncronas (es decir con una tasa regular). En cada ráfaga se adquiere una parte de la escena a la PRF nominal de la antena, de tal manera que se muestrea correctamente del espectro acimutal (para más detalles, remítase a Ref3, Ref5 y Ref6), pero durante un tiempo más corto (y, por tanto, un delta de ángulo más pequeño). Esta división del tiempo permite cambiar el haz, en ráfagas subsiguientes, en otras direcciones con el fin de aumentar el alcance de la zona explorada. En la práctica, el “tiempo acimutal” se divide en N_b ráfagas y se adquiere una franja diferente en cada ráfaga. La mayor contraindicación de este modo es que al reducir el delta de ángulo adquirido, se deteriora la resolución acimutal. En particular, la restricción de cobertura continua que garantiza la ausencia de “huecos” en las franjas implica que la mejor resolución acimutal no puede ser menor que (es decir, mejor que) una cantidad determinada (para más detalles, remítase a Ref3, Ref4, Ref5 y Ref6); en particular se encuentra que:

$$res_{ScanSar} \geq (N_b + 1)res_{franja}$$

donde $res_{ScanSAR}$ indica la resolución de *ScanSAR* y res_{franja} indica la resolución de referencia del mapa de franjas (es decir, $L/2$).

El modo TOPS (para más detalles, remítase a Ref4) también se enumera entre los modos de ráfaga; este modo se aprovecha de la capacidad de orientación acimutal y requiere un sentido de exploración opuesto al del modo de luz concentrada, es decir comparable a un barrido en lugar de un nuevo centrado. Es decir, en cada ráfaga, la orientación acimutal inicial garantiza que el sensor de SAR “mira” hacia atrás y luego apunta hacia delante al final de la ráfaga. Esto garantiza que, a diferencia del modo *ScanSAR* convencional, cada objetivo se ilumina por todo el diagrama de antena y esto permite igualar la respuesta radiométrica y las ambigüedades acimutales. Tal como sucede con el modo *ScanSAR* estipulado, en el modo TOPS (que también es un modo de ráfaga) también, los objetivos se observan siempre por el sensor con un delta de ángulo (o delta de tiempo) más pequeño que el típico del modo de mapa de franjas.

Se deduce que también el modo TOPS, al igual que *ScanSAR* (aunque con diferentes ecuaciones/restricciones con respecto al *ScanSAR* tradicional), permite ampliar el alcance de la zona explorada a costa de la degradación de la resolución acimutal con respecto al modo de mapa de franjas. Estos conceptos se resumen en Ref4, donde en la introducción se indica: “*Son ejemplos el modo ScanSAR (o TOPS) que permite una zona explorada amplia a costa de una resolución acimutal alterada y el modo de luz concentrada que permite una resolución acimutal mejorada a costa de una obtención de imágenes no contigua a lo largo de la trayectoria del satélite*”.

Tal como se observó anteriormente, los requisitos de tener zonas exploradas amplias y altas resoluciones están en conflicto mutuo. Por un lado, se prefiere una baja PRF para tener “más tiempo” para adquirir una escena amplia en el plano de elevación de trayectoria transversal, mientras que por otro lado, se preferiría un haz de antena ancho para mejorar la resolución acimutal. Sin embargo, esta última característica requeriría una alta PRF, contrastando de ese modo con el primer requisito. Con el fin de superar estos problemas, se han propuesto técnicas en el pasado que usan modos de división de espacio, tales como, por ejemplo, la técnica de centros de fase desplazados (DPC) (para más detalles, remítase a Ref3 y Ref4), que requiere el uso de múltiples antenas de recepción. Esto puede lograrse mediante el uso de múltiples sensores de SAR, o mediante la segmentación de una única antena y el uso de múltiples sistemas de recepción: se transmite un haz ancho (tamaño de antena L pequeño) y luego se recibe simultáneamente con M antenas (de tamaño pequeño como la que está en transmisión) dispuestas a lo largo de la dirección acimutal. El uso de múltiples elementos de recepción permite tener un mayor número de muestras acimutales y, por tanto, usar una menor PRF física (para más detalles, remítase a Ref3 y Ref4). La mayor contraindicación de esta técnica es la complejidad; de hecho, esta técnica requiere el uso simultáneo de M receptores y M antenas “pequeñas” (o una grande dividida en M sub-bloques) y, por tanto, requiere alta potencia de transmisión para lograr la sensibilidad de producto adecuada. Además, la bibliografía señala algunas áreas críticas a nivel de algoritmo en cuanto a la sensibilidad a errores de conocimiento de los M centros de fase, así como los efectos sobre el nivel de ambigüedad. Hay algunas variantes en la bibliografía que intentan reducir estas áreas críticas, tales como la técnica de zona explorada amplia de alta resolución (HRWS), que también prevé dividir una elevación con el fin de “seguir” el haz en elevación, aumentando de ese modo la directividad y como consecuencia la sensibilidad del producto.

El objetivo de las técnicas que usan los modos de división de ángulo es similar al de las técnicas que usan modos de división de espacio, pero las muestras adicionales se adquieren mediante muestreo en diferentes direcciones. En particular, hay dos lógicas principales: división angular en elevación y división angular en acimut.

La división angular en elevación (con respecto a esto, puede hacerse referencia, por ejemplo, a la técnica de haz de elevación múltiple (MEB) descrita en Ref4) prevé la adquisición simultánea con múltiples sistemas de antena/recepción y un único transmisor (con zona explorada amplia), o más transmisiones directivas (para más detalles, remítase a Ref3 y Ref4). De este modo, se obtiene una pluralidad de adquisiciones en modo de mapa de franjas con resoluciones acimutales nominales (aproximadamente $L/2$). Para reducir los problemas de ambigüedades de alcance, la bibliografía propone la conmutación de lóbulo de haces individuales en elevación.

En cambio, la división angular en acimut (con respecto a esto, puede hacerse referencia, por ejemplo, a la técnica de múltiples haces de centro de fase único (SPCMB) descrita en Ref3) prevé la transmisión a través de un único haz ancho y la recepción simultánea a través de M haces más estrechos. De este modo, se obtiene un haz ancho (mejorando la resolución), pero de manera similar al modo de luz concentrada, los canales de recepción únicos muestran correctamente una parte angular diferente. Estos canales se recombinarán entonces durante el procesamiento con el fin de obtener un delta de ángulo sintetizado M veces mayor, mejorando como consecuencia la resolución (para más detalles, remítase a Ref3 y Ref4). En general, la división angular en las técnicas de acimut tiene muchas áreas críticas con respecto al nivel de ambigüedad; de hecho, interaccionan los lóbulos laterales de la antena en transmisión y de las antenas únicas en recepción, elevando el nivel de las ambigüedades.

También en este caso, la mayor contraindicación de las técnicas de división angular es la complejidad; de hecho, estas técnicas contemplan el uso simultáneo de M receptores y M antenas "pequeñas" (o una grande dividida en M sub-bloques) y, por tanto, requieren alta potencia de transmisión para lograr la sensibilidad de producto adecuada.

Los conceptos de división de espacio y de ángulo se resumen bien en Ref4, que en la sección 2 indica: "*Varias propuestas resuelven el dilema de resolución acimutal frente a cobertura de zona explorada amplia al combinar un receptor de radar de múltiples canales con un transmisor de apertura pequeña que ilumina un área amplia del suelo. Son ejemplos el SAR de múltiples haces de conmutación de lóbulo ..., la técnica de antena de centros de fase desplazados (DPCA)..., el sistema de SAR de red cuádruple ..., y el sistema de SAR de zona explorada amplia de alta resolución (HRWS)*".

Aunque el objetivo es diferente, el modo de obtención de imágenes de SAR bidireccional (BiDi, para más detalles, remítase a Ref1) también debe contarse entre las técnicas de división de ángulo. Al aprovecharse de los lóbulos retícula acimutal de una antena de red en fase o que funcionan en tiempos diferentes, este modo adquiere simultáneamente dos imágenes diferentes: una en cuanto a la escena delante y la otra en cuanto a la escena detrás. La diferencia angular acimutal es el equivalente de una diferencia de tiempo, es decir la misma escena observada en tiempos diferentes, y, por tanto, es posible identificar objetos en movimiento en la escena comparando imágenes. Es importante subrayar que esta técnica exige que las dos adquisiciones estén separadas angularmente en acimut, es decir no es posible combinar los datos de los dos canales para reconstruir una imagen con mayor resolución.

En la conclusión de Ref1, se indica: "*Las series a corto plazo BiDi pueden usarse para la detección de velocidad y cambio. ... Las posibilidades del modo de obtención de imágenes BiDi en lo que se refiere a la medición de la velocidad es objeto de trabajo de investigación futuro. Posibles aplicaciones adicionales de BiDi incluyen medición de alta precisión de desplazamiento a lo largo de la trayectoria aprovechando los espectros Doppler separados ampliamente*".

Finalmente, aunque la tecnología de SAR puede desarrollarse con un tipo de antena diferente, el que ofrece la mayor flexibilidad de uso es el tipo denominado de "red en fase", que permite un cambio rápido de la dirección de adquisición. Pueden usarse otros tipos de antena, tales como el descrito en Ref2, por ejemplo.

Objeto y sumario de la invención

El objeto de la presente invención es el de proporcionar un método de obtención de imágenes de SAR de mapa de franjas observando varias zonas exploradas.

El objeto indicado anterior se logra mediante la presente invención en la medida en que se refiere a un método de obtención de imágenes de SAR y un sistema de SAR, tal como se definen en las reivindicaciones adjuntas.

En particular, el método de obtención de imágenes de SAR según la presente invención comprende realizar N adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas de áreas de la superficie terrestre por medio de un radar de apertura sintética que se transporta por una plataforma aérea o de satélite y que comprende una única antena no dividida y un único receptor acoplado a dicha única antena no dividida, donde N es un número entero mayor de uno.

Cada adquisición de SAR en modo de mapa de franjas se realiza usando un ángulo de conmutación de lóbulo respectivo con respecto a la dirección de vuelo del radar de apertura sintética, siendo dicho ángulo de conmutación de lóbulo respectivo igual a, o diferente de, los ángulos de conmutación de lóbulo usados para realizar las otras N-1 adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas.

Cada adquisición de SAR en modo de mapa de franjas se realiza usando un ángulo de elevación respectivo con respecto al nadir del radar de apertura sintética, siendo dicho ángulo de elevación respectivo diferente de los ángulos de elevación usados para realizar las otras N-1 adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas, dando

como resultado de ese modo que cada adquisición de SAR en modo de mapa de franjas está relacionada con una zona explorada respectiva de la superficie terrestre que es diferente de las zonas exploradas observadas a través de las otras N-1 adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas realizadas.

5 Además, cada adquisición de SAR realizada en modo de mapa de franjas comprende operaciones de transmisión y recepción de radar respectivas que:

- están intercaladas en el tiempo, individualmente o en grupos, con operaciones de transmisión y recepción de radar únicas, o grupos de las mismas, de las otras N-1 adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas realizadas; y
- 10 • comprenden la transmisión y recepción de haces de radar respectivos en direcciones de adquisición respectivas que se definen por el ángulo de conmutación de lóbulo respectivo y por el ángulo de elevación respectivo usados para dicha adquisición de SAR en modo de mapa de franjas, dando como resultado de ese modo que dichas direcciones de adquisición respectivas son paralelas entre sí y no paralelas a las direcciones de adquisición de las otras N-1 adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas realizadas.

15 El método comprende además generar, basándose en cada adquisición de SAR en modo de mapa de franjas realizada, imágenes de SAR de áreas de la zona explorada respectiva observada a través de dicha adquisición de SAR en modo de mapa de franjas.

En particular, todas las imágenes de SAR generadas tienen la misma resolución acimutal, que es igual a la mitad de la longitud física o equivalente a lo largo de la dirección acimutal de la única antena no dividida del radar de apertura sintética.

20 **Breve descripción de dibujos**

Para una mejor comprensión de la presente invención, ahora se describirán algunas realizaciones preferidas, proporcionadas a modo de ejemplo no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos (que no están a escala), donde:

- 25 • Las figuras 1 y 2 muestran esquemáticamente una geometría de adquisición típica para imágenes de SAR en modo de mapa de franjas;
- la figura 3 muestra esquemáticamente una geometría de adquisición típica para imágenes de SAR en modo de luz concentrada;
- la figura 4 muestra esquemáticamente un ejemplo de lógica para adquisición de SAR en modo de mapa de franjas según un primer aspecto de la presente invención;
- 30 • las figuras 5 y 6 muestran esquemáticamente los efectos de aplicar una primera estrategia de adquisición en la realización de una técnica de adquisición de SAR en modo de mapa de franjas según un segundo aspecto de la presente invención; y
- las figuras 7 y 8 muestran esquemáticamente los efectos de aplicar una segunda estrategia de adquisición en la realización de la técnica de adquisición de SAR en modo de mapa de franjas según el segundo aspecto de la presente invención.
- 35

Descripción detallada de realizaciones preferidas de la invención

40 La presente invención se deriva de la visión del solicitante para aprovecharse de la capacidad de orientación de las antenas usadas en los sensores de SAR de manera no convencional. El solicitante concibió entonces una técnica de adquisición de SAR de múltiples haces y multitemporal que se aprovecha de las características de transmisión y recepción de un sensor de SAR en tiempo compartido.

En particular, la idea en la que se basa la presente invención es la de dividir una adquisición de SAR en modo de mapa de franjas en N adquisiciones elementales en modo de mapa de franjas (con $N > 1$) y combinarlas para obtener N conjuntos de imágenes de SAR, en la que cada conjunto está relacionado con una zona explorada respectiva (concretamente para observar N zonas exploradas distintas con la misma resolución acimutal).

45 En detalle, un primer aspecto de la presente invención se refiere a realizar N adquisiciones de SAR diferentes usando N ángulos de elevación diferentes para observar N zonas exploradas diferentes.

Específicamente, la idea en la que se basa dicho primer aspecto de la presente invención es la de realizar varias adquisiciones de SAR intercaladas a nivel de intervalo de repetición de impulsos (PRI), que representa el tiempo entre dos impulsos transmitidos consecutivos, en particular adquisiciones de SAR en las que la dirección de elevación de adquisición de la antena cambia a nivel de PRI. Con el fin de hacer esto, se usa una frecuencia de repetición de impulsos (PRF, donde $PRF = 1/PRI$) que es N veces mayor con respecto a la PRF nominal asociada con la antena del sensor de SAR usado. Volviendo brevemente a la figura 1, por motivos de claridad de descripción,

50

debe recordarse que el ángulo de elevación es el ángulo θ entre la dirección de puntería s_r de la antena del sensor de SAR y el dirección de nadir z del sensor de SAR.

5 Al aumentar la PRF en un factor de N , las N franjas diferentes tendrán N veces menos tiempo disponible y por tanto, en general, tendrán una zona explorada reducida en un factor de N ; sin embargo, al “sumar” las N zonas exploradas observadas diferentes juntas, todavía se obtiene el tamaño de zona explorada típico del modo de mapa de franjas clásico. Dado que las franjas individuales son más pequeñas en un factor de N , es posible usar una antena N veces mayor en elevación, aumentando de ese modo la directividad del producto, es decir la sensibilidad. En general, la antena puede aprovecharse de un modo más eficaz.

10 Además, al aumentar el PRF en un factor de N , pueden obtenerse N adquisiciones de mapa de franjas, que tienen individualmente PRF compatibles con el tamaño de antena (de este modo, no se alteran los valores de ambigüedad acimutal).

15 Aunque la técnica de adquisición de SAR en modo de mapa de franjas según el primer aspecto indicado anteriormente de la presente invención puede usarse con un número entero genérico N mayor de uno, a continuación en el presente documento, por motivos de simplicidad de descripción y sin pérdida de generalidad, se mostrarán ejemplos para $N = 2$, entendiéndose que los conceptos explicados a continuación en el presente documento en relación con el caso de $N = 2$ también son aplicables, cambiando lo que se deba cambiar, en el caso de un número entero genérico N mayor de uno.

20 Para una mejor comprensión del segundo aspecto de la presente invención, la figura 4 ilustra esquemáticamente un ejemplo de lógica para adquisición de SAR en modo de mapa de franjas según dicho primer aspecto de la presente invención en el caso de $N = 2$ y en el caso de una aplicación de satélite (entendiéndose que esta lógica de adquisición de SAR también puede usarse ventajosamente en el caso de plataformas aéreas tales como, por ejemplo, una aeronave, un VANT o un helicóptero).

25 En particular, la figura 4 (en la que el sistema de referencia cartesiano usado corresponde sustancialmente al introducido anteriormente para las figuras 1-3) muestra un satélite 30 que se mueve a lo largo de una dirección de vuelo d y que está equipado con un sensor de SAR (no mostrado en la figura 4 por motivos de simplicidad de ilustración), que está equipado a su vez con una única antena no dividida (no mostrada en la figura 4 por motivos de simplicidad de ilustración) que está acoplada a un único receptor (no mostrado en la figura 4 por motivos de simplicidad de ilustración) y que está asociado con una frecuencia de repetición de impulsos nominal PRF_{nom} dada.

30 En el ejemplo mostrado en la figura 4, el sensor de SAR se usa con una frecuencia de repetición de impulsos de funcionamiento PRF_{op} el doble que la frecuencia de repetición de impulsos nominal PRF_{nom} de la antena (es decir $PRF_{op} = 2PRF_{nom}$) para transmitir impulsos sucesivos a una distancia temporal $PRI_{op} = 1/(2PRF_{nom})$. En particular, tal como se muestra en la figura 4, el sensor de SAR a bordo del satélite 30 realiza una serie de primeras adquisiciones de SAR usando un primer ángulo de elevación y una serie de segundas adquisiciones de SAR usando un segundo ángulo de elevación, en el que dichas adquisiciones de SAR primeras y segundas se intercalan a nivel de PRI (concretamente, una primera adquisición de SAR siempre alterna con una segunda adquisición de SAR) y dichos ángulos de elevación primero y segundo son diferentes entre sí. En otras palabras, se realiza una primera adquisición de SAR usando el primer ángulo de elevación, entonces, a una distancia temporal $PRI_{op} = 1/PRF_{op} = 1/(2PRF_{nom})$, se realiza una segunda adquisición de SAR usando el segundo ángulo de elevación, entonces, siempre a una distancia temporal $PRI_{op} = 1/PRF_{op} = 1/(2PRF_{nom})$, se realiza de nuevo una primera adquisición de SAR usando el primer ángulo de elevación y así sucesivamente, alternando siempre la ejecución de una primera adquisición de SAR con la ejecución de una segunda adquisición de SAR y espaciando las diferentes adquisiciones en un periodo de tiempo $PRI_{op} = 1/PRF_{op} = 1/(2PRF_{nom})$. De este modo, el sensor de SAR a bordo del satélite 30 puede observar dos zonas exploradas distintas (tal como se muestra en la figura 4).

45 Es importante observar que las adquisiciones en cuanto a una misma zona explorada se realizan con la frecuencia de repetición de impulsos nominal PRF_{nom} de la antena, es decir las primeras adquisiciones de SAR se realizan con la frecuencia de repetición de impulsos nominal PRF_{nom} de la antena y las segundas adquisiciones de SAR también se realizan con la frecuencia de repetición de impulsos nominal PRF_{nom} de la antena. De este modo, no se alteran los valores de ambigüedad acimutal.

50 Más en general, puesto que la frecuencia de repetición de impulsos de funcionamiento PRF_{op} usada es N veces (dos veces en el ejemplo en la figura 4) mayor que la PRF_{nom} requerida/nominal, las adquisiciones individuales tendrán PRF nominales, y, por tanto, todos los parámetros de calidad de producto permanecerán inalterados. A todos los efectos, la técnica de adquisición de SAR en modo de mapa de franjas según el primer aspecto de la presente invención permite separar el alcance de la zona explorada en N zonas exploradas de tamaño reducido (aproximadamente $1/N$) sin alterar los otros parámetros, tales como la resolución acimutal, por ejemplo.

55 La totalidad de las N adquisiciones de SAR pueden realizarse usando el mismo ángulo de conmutación de lóbulo, o cada adquisición de SAR puede realizarse usando un ángulo de conmutación de lóbulo respectivo diferente del usado para realizar las otras $N-1$ adquisiciones de SAR para obtener, para cada adquisición, un tiempo de integración igual al del mapa de franjas convencional.

Por tanto, la técnica de adquisición de SAR en modo de mapa de franjas según el primer aspecto de la presente invención permite dar servicio a dos usuarios (o N en el caso genérico) interesados en áreas de extensión media y separadas entre sí en el plano de elevación. Con la técnica de mapa de franjas tradicional, estas peticiones estarían en conflicto y, por tanto, no sería posible darles servicio simultáneamente.

5 Con el fin de no alterar los parámetros de calidad de imagen, la PRF usada con la técnica según el primer aspecto de la presente invención es mayor que la natural de la antena. Al aumentar la PRF, las zonas exploradas en alcance que pueden adquirirse son más pequeñas. Por tanto, un segundo aspecto de la presente invención se refiere a una técnica de adquisición de SAR en modo de mapa de franjas que no usa una PRF aumentada, o en cualquier caso no aumentada en un factor de N, para controlar los efectos sobre el producto y gestionar la degradación inducida.

10 En particular, dicho segundo aspecto de la presente invención se refiere a una técnica de mapa de franjas denominada en modo de ráfaga que no está intercalada a nivel de PRI, es decir donde las N adquisiciones de mapa de franjas no se realizan variando la dirección de adquisición de la antena en elevación a nivel de PRI, sino variando la dirección de adquisición de la antena en elevación en bloques de PRI.

15 Específicamente, el segundo aspecto de la presente invención se refiere a una técnica de mapa de franjas en modo de ráfaga en la que las N adquisiciones de mapa de franjas se realizan sin aumentar la PRF y variando la dirección de elevación de adquisición de la antena, es decir el ángulo de elevación usado, en bloques de PRI.

La técnica de mapa de franjas en modo de ráfaga con PRF no aumentada y variación del ángulo de elevación según el segundo aspecto de la presente invención permite ampliar el alcance de la zona explorada, incluso hasta el punto de duplicarlo.

20 Con el fin de dividir la adquisición en dos (N en el caso genérico) y suponer el uso de la PRF nominal natural de la antena usada, se introducen “huecos” en el esquema de adquisición. Si estos huecos no tienen características periódicas, el efecto será una elevación distribuida de todos los lóbulos laterales, es decir se deteriora el parámetro ISLR (razón de lóbulos laterales integrados), pero no la PSLR (razón de lóbulos laterales máximos). Y viceversa, mediante el uso de patrones de ejecución periódica para los dos (N en el caso genérico), se crean ecos emparejados en una posición conocida. Dependiendo de los requisitos, pueden elegirse diversas soluciones y luego aplicarse un patrón dado en la lógica de adquisición. Dado que se integrará un menor número de muestras, el producto tendrá un parámetro NESZ (equivalente de ruido - sigma cero) no emparejado.

25 A modo de ejemplo, las figuras 5 y 6 muestran los efectos de aplicar un patrón de ejecución periódica de los N tipos de adquisición con la técnica de mapa de franjas en modo de ráfaga con PRF no aumentada según el segundo aspecto de la presente invención, mientras que las figuras 7 y 8 muestran los efectos de aplicar un patrón de ejecución aleatoria de los N tipos de adquisición con la técnica de mapa de franjas en modo de ráfaga con PRF no aumentada según el segundo aspecto de la presente invención.

30 Con respecto a la técnica según el primer aspecto de la presente invención, la técnica según el segundo aspecto introduce menos restricciones tecnológicas porque el cambio del haz de antena tiene lugar a una frecuencia considerablemente menor.

35 Resumiendo brevemente, la presente invención se refiere a:

- el uso de una PRF aumentada en un factor de N y el uso intercalado de N ángulos de elevación diferentes a nivel de PRI para observar N zonas exploradas separadas con la misma resolución acimutal (en particular, cada una de las N zonas exploradas se observa con la resolución acimutal nominal del modo de mapa de franjas tradicional (es decir, $L/2$)); y
- el uso de una PRF no aumentada y el uso de ráfaga de N ángulos de elevación diferentes para ampliar el alcance de la zona explorada en un factor de N (es decir, permitiendo la observación de N zonas exploradas, cada una de las cuales tiene un tamaño comparable a los de zonas exploradas observadas a través de adquisiciones en modo de mapa de franjas convencional) con la misma resolución acimutal (en particular, cada zona explorada se observa con la resolución acimutal nominal del modo de mapa de franjas tradicional (es decir, $L/2$)).

40 Es importante subrayar el hecho de que la presente invención permite realizar N adquisiciones de mapa de franjas “continuas” (es decir, con veces de integración iguales a las del modo de mapa de franjas tradicional), obteniendo de ese modo, para cada zona explorada, la resolución acimutal máxima nominal del modo de mapa de franjas tradicional (es decir, $L/2$); en particular, según el primer aspecto de la presente invención, cada adquisición se realiza con la PRF nominal de la antena del sensor de SAR usado.

45 En conclusión, la presente invención se aprovecha de lógicas de adquisición de múltiples haces que permiten adquirir simultáneamente áreas que no son contiguas en la dirección ortogonal a la dirección de vuelo del sensor de SAR, a diferencia de las técnicas tradicionales de luz concentrada y mapa de franjas que, por el contrario, no permiten observar simultáneamente varias zonas exploradas.

Por tanto, la presente invención no sólo aumenta el alcance de productos para sistemas ya producidos, sino que sobre todo, introduce una nueva metodología para diseñar nuevos sistemas de SAR.

5 Finalmente, tras haber comparado la presente invención con los modos tradicionales de luz concentrada y de mapa de franjas, también se describirán ahora las principales diferencias con respecto a las técnicas conocidas de generación de imágenes de SAR de zona explorada amplia de alta resolución descritas anteriormente.

En particular, a diferencia de la presente invención, las técnicas de ráfaga (por ejemplo, *ScanSAR* y TOPS) prevén el deterioro de la resolución acimutal con el fin de aumentar el alcance de la zona explorada.

10 A diferencia de la presente invención, que funciona con un único canal de recepción (es decir, con un único receptor), las técnicas de división de espacio (por ejemplo, DPC y HRWS) y las de división de ángulo (por ejemplo, MEB y SPCMB) prevén el uso de M sistemas para la recepción simultánea y también prevén el uso de una antena pequeña (normalmente, una antena se divide en M antenas más pequeñas).

15 El modo BiDi descrito en Ref1 tiene un fin diferente, el de la identificación de objetivo móvil (MTI) y, por tanto, no tiene el objeto de observar varias zonas exploradas en alcance. Además, la geometría de adquisición es diferente de la de la presente invención; el cambio de haz tiene lugar realmente en el plano acimutal y no en el plano de elevación.

20 Además, también debe indicarse que Ref2 tiene lógica de implementación a nivel de antena y no lógica de adquisición como la presente invención. Además, tal como puede deducirse a partir de la figura 3 de Ref2, las adquisiciones están separadas por un espacio significativo con respecto a la zona explorada de la antena y tienen características de repetibilidad. Las ráfagas no garantizan el muestreo continuo del espectro acimutal con la frecuencia natural (PRF) de la antena, es decir no hay continuidad temporal en las ráfagas en cuanto a una misma zona explorada y por tanto, a diferencia de lo que se prevé por la presente invención, la mejor resolución acimutal que puede lograrse es peor que la nominal del modo de mapa de franjas (es decir, $L/2$). En particular, la geometría mostrada en la figura 3 de Ref2 es la típica del modo *ScanSAR* que, tal como acaba de decirse, permite observar múltiples zonas exploradas, pero con resoluciones acimutales peores que la resolución nominal del modo de mapa de franjas (es decir, $L/2$) y, en consecuencia, peores que las obtenidas para las diversas zonas exploradas mediante la presente invención.

30 Finalmente, también debe indicarse que la sección 5 de Ref3 también presenta el modo *ScanSAR*, es decir un modo que adquiere múltiples sub-zonas exploradas en alcance con ráfagas que no son contiguas en el tiempo. Las ráfagas son secuenciales y de duración más corta con respecto a las que pueden obtenerse en modo de mapa de franjas, y por tanto, a diferencia de lo que se prevé por la presente invención, hay un deterioro en la resolución acimutal con referencia a la resolución nominal del modo de mapa de franjas (es decir, $L/2$). Además, la figura 10 de Ref3 no muestra lógica de adquisición, sino que solo describe los valores de PRF que pueden elegirse dependiendo de la distancia de la escena. En particular, según lo mostrado en la figura 10 de Ref3, se prevén ráfagas sincronas y espaciadas en las áreas individuales en alcance, forzando de ese modo la degradación de la resolución acimutal.

35 Además, la figura 8 de Ref3 ilustra el modo *ScanSAR* tradicional que, tal como se indicó anteriormente, permite observar múltiples zonas exploradas, pero con resoluciones acimutales peores que la resolución nominal del modo de mapa de franjas (es decir, $L/2$) y, como consecuencia, peores que las obtenidas para las diversas zonas exploradas mediante la presente invención.

40

REIVINDICACIONES

1. Método de obtención de imágenes de SAR que comprende realizar N adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas de áreas de la superficie terrestre por medio de un radar de apertura sintética que se transporta por una plataforma aérea o de satélite (30) y que comprende una única antena no dividida y un único receptor acoplado a dicha única antena no dividida, siendo N un número entero mayor que uno;
- 5 en el que la única antena no dividida del radar de apertura sintética está asociada con una frecuencia de repetición de impulsos nominal;
- 10 en el que cada adquisición de SAR en modo de mapa de franjas se realiza usando un ángulo de conmutación de lóbulo respectivo con respecto a la dirección de vuelo del radar de apertura sintética, siendo dicho ángulo de conmutación de lóbulo respectivo igual a, o diferente de, los ángulos de conmutación de lóbulo usados para realizar las otras N-1 adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas;
- 15 en el que cada adquisición de SAR en modo de mapa de franjas se realiza usando un ángulo de elevación respectivo con respecto al nadir del radar de apertura sintética, siendo dicho ángulo de elevación respectivo diferente de los ángulos de elevación usados para realizar las otras N-1 adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas, dando como resultado de ese modo que cada adquisición de SAR en modo de mapa de franjas está relacionada con una zona explorada respectiva de la superficie terrestre que es diferente de las zonas exploradas observadas a través de las otras N-1 adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas;
- 20 en el que cada adquisición de SAR realizada en modo de mapa de franjas comprende operaciones de transmisión y recepción de radar respectivas que:
- están intercaladas en el tiempo, individualmente o en grupos, con operaciones de transmisión y recepción de radar únicas, o grupos de las mismas, de las otras N-1 adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas realizadas; y
 - comprenden la transmisión y recepción de haces de radar respectivos en direcciones de adquisición respectivas que se definen por el ángulo de conmutación de lóbulo respectivo y por el ángulo de elevación respectivo usados para dicha adquisición de SAR en modo de mapa de franjas, dando como resultado de ese modo que dichas direcciones de adquisición respectivas son paralelas entre sí y no paralelas a las direcciones de adquisición de las otras N-1 adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas realizadas;
- 25 en el que las operaciones de transmisión y recepción de radar se realizan mediante:
- el uso de una frecuencia de repetición de funcionamiento que está aumentada en un factor de N con respecto a la frecuencia de repetición de impulsos nominal; o
 - un uso de ráfaga de los N ángulos de elevación diferentes para ampliar el alcance de la zona explorada en un factor de N;
- 30 comprendiendo adicionalmente el método generar, basándose en cada adquisición de SAR en modo de mapa de franjas realizada, imágenes de SAR de áreas de la zona explorada respectiva observada a través de dicha adquisición de SAR en modo de mapa de franjas;
- 35 en el que todas las imágenes de SAR generadas tienen una y la misma resolución acimutal que es igual a la mitad de la longitud física o equivalente a lo largo de la dirección acimutal de la única antena no dividida del radar de apertura sintética.
- 40
2. El método según la reivindicación 1, en el que las operaciones de transmisión y recepción de radar respectivas de cada adquisición de SAR realizada en modo de mapa de franjas están intercaladas en el tiempo individualmente con operaciones de transmisión y recepción de radar únicas de las otras N-1 adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas realizadas;
- 45 y en el que las operaciones de transmisión y recepción de radar se realizan con una frecuencia de repetición de funcionamiento igual a N veces la frecuencia de repetición de impulsos nominal de modo que cada una de las N adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas se realiza con la frecuencia de repetición de impulsos nominal.
3. El método según la reivindicación 1, en el que las operaciones de transmisión y recepción de radar respectivas de cada adquisición de SAR realizada en modo de mapa de franjas están intercaladas en el tiempo, en grupos, con grupos de operaciones de transmisión y recepción de radar de las otras N-1 adquisiciones de SAR en modo de mapa de franjas realizadas;
- 50 y en el que las operaciones de transmisión y recepción de radar se realizan con una frecuencia de

repetición de funcionamiento comparable a la frecuencia de repetición de impulsos nominal.

4. El método según la reivindicación 3, en el que los grupos de operaciones de transmisión y recepción de radar de las N adquisiciones de SAR diferentes en modo de mapa de franjas están intercaladas en el tiempo según un patrón de intercalación periódica o aleatoria.

5 5. Sistema de radar de apertura sintética que:

- comprende una única antena no dividida y un único receptor acoplado a dicha única antena no dividida; y
- está configurado para realizar el método de obtención de imágenes de SAR reivindicado en cualquier reivindicación anterior.

10

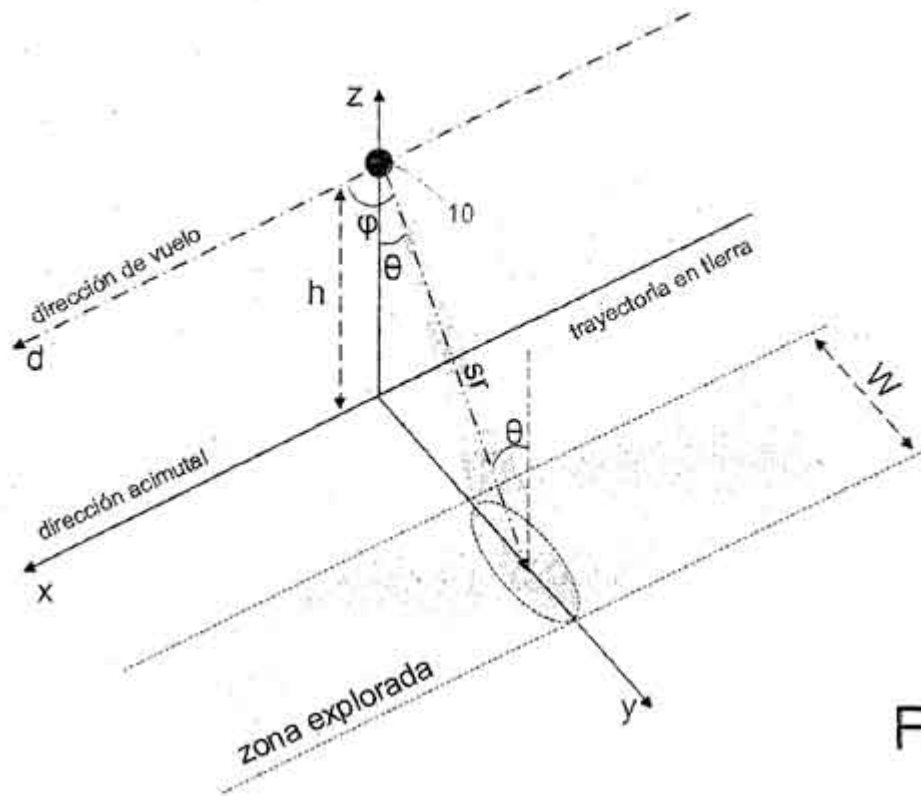


Fig. 1

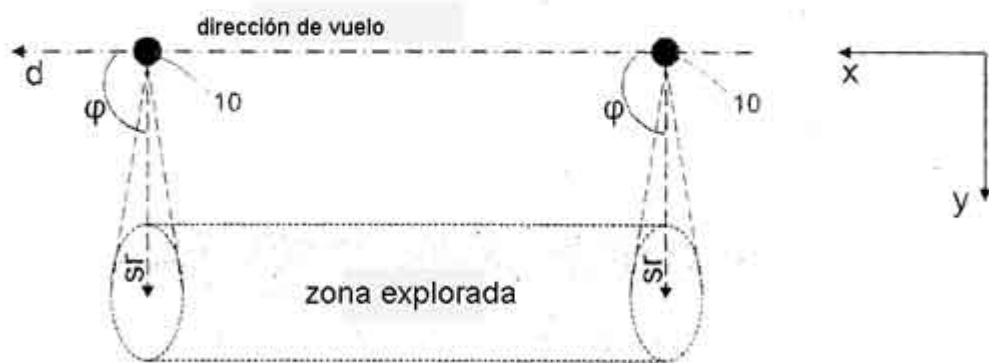


Fig. 2

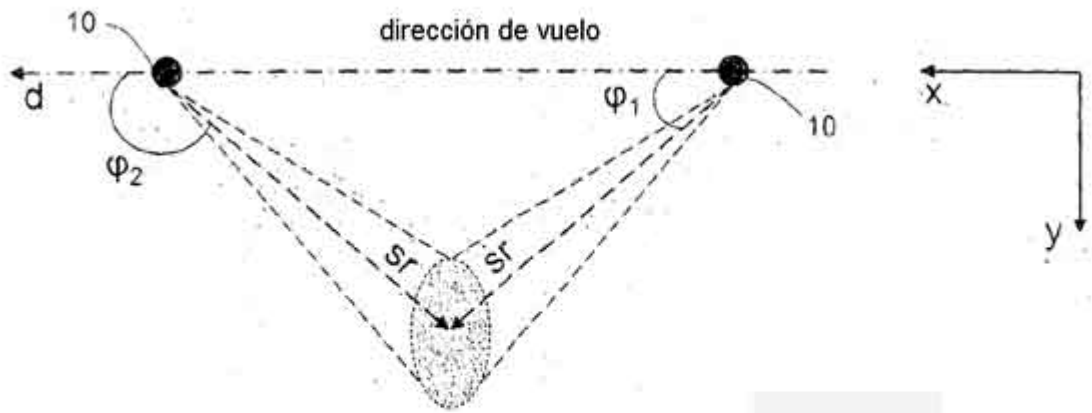


Fig.3

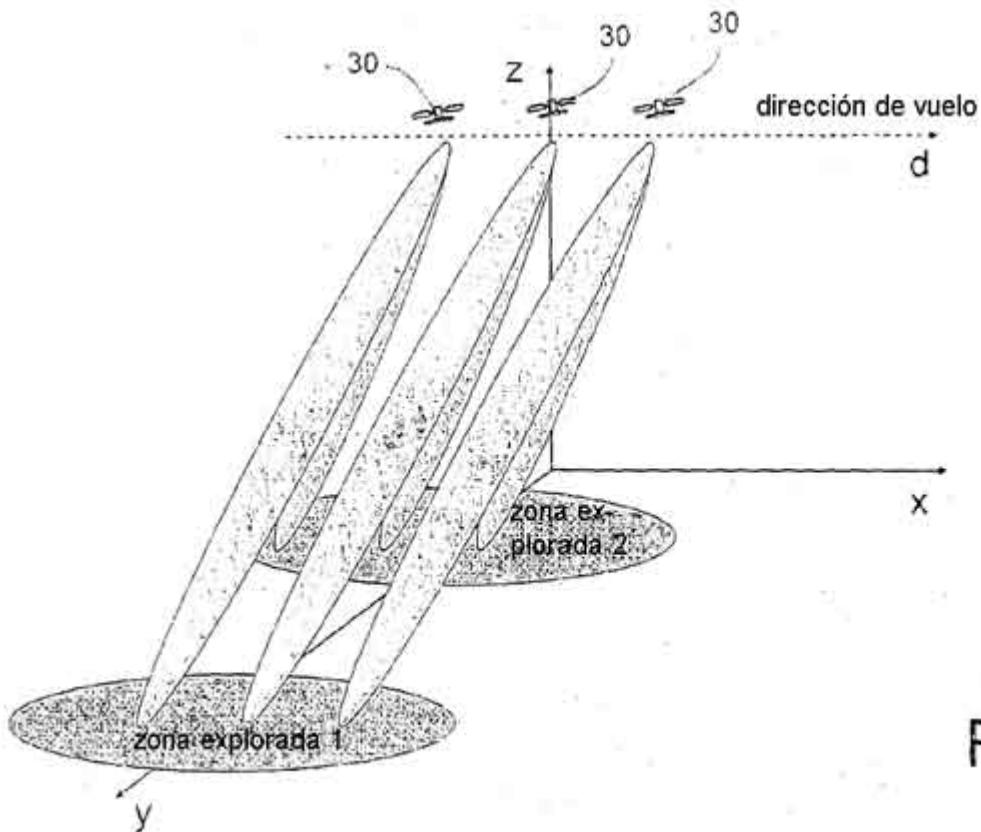


Fig.4

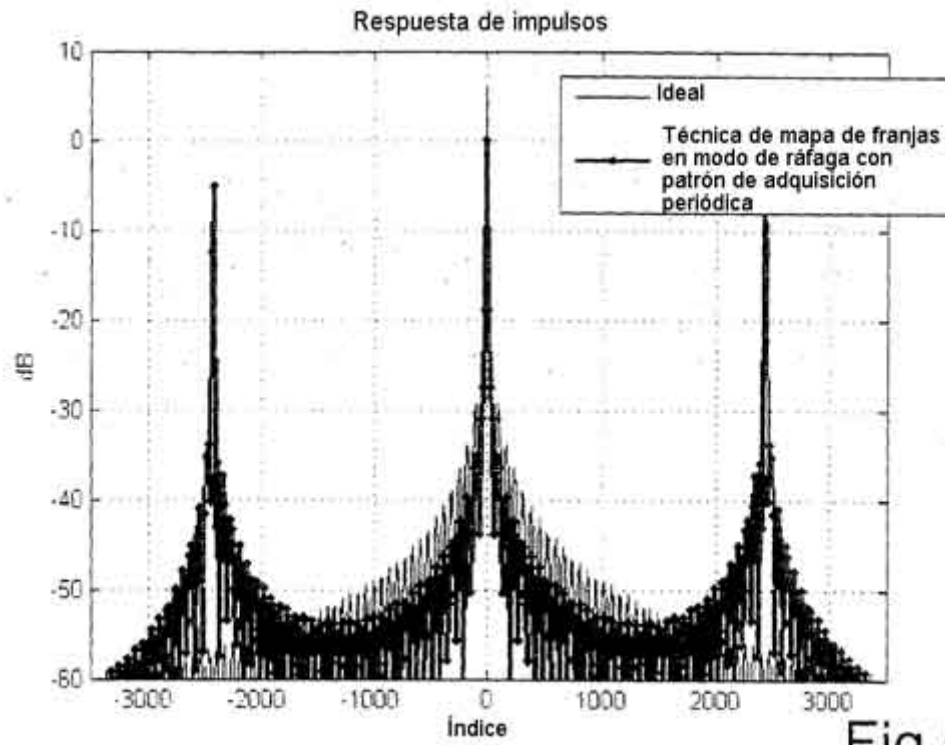


Fig.5

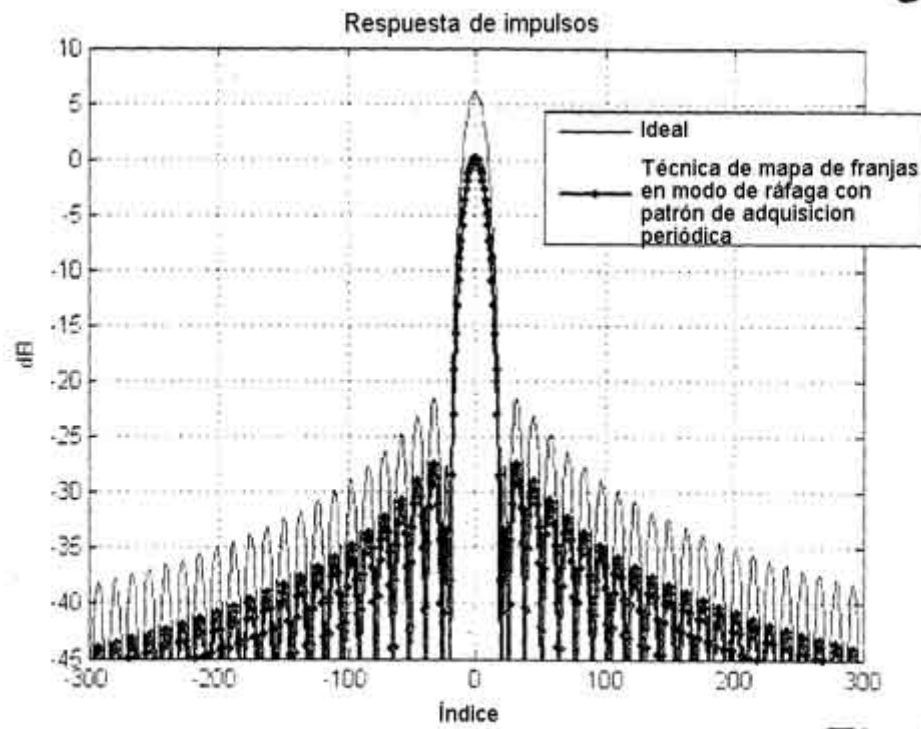


Fig.6

