

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 819 006**

51 Int. Cl.:

**G01S 13/90** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2018** **E 18161919 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.07.2020** **EP 3385750**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para el procesamiento de datos brutos SAR**

30 Prioridad:

**03.04.2017 DE 102017205649**

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

**14.04.2021**

73 Titular/es:

**DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND  
RAUMFAHRT E.V. (100.0%)**

**Linder Höhe  
51147 Köln, DE**

72 Inventor/es:

**VILLANO, MICHELANGELO;  
KRIEGER, GERHARD y  
MOREIRA, ALBERTO**

74 Agente/Representante:

**SALVÀ FERRER, Joan**

**ES 2 819 006 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para el procesamiento de datos brutos SAR

- 5 **[0001]** La invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo para el procesamiento asistido por ordenador de datos brutos SAR.
- [0002]** Los sistemas SAR (SAR = *Syntetic Aperture Radar* [radar de apertura sintética]) permiten la teledetección de la superficie terrestre mediante la detección de pulsos de radar reflejados en la superficie terrestre, que se emiten por un dispositivo de radar que se mueve con velocidad constante sobre la superficie terrestre en una así denominada dirección acimutal. A este respecto, el término de la superficie terrestre se debe entender de forma amplia y también se puede referir eventualmente a la superficie de un cuerpo celeste diferente (preferentemente de un planeta diferente) de la tierra.
- 10 **[0003]** Los datos brutos SAR detectados con un sistema SAR contienen para una pluralidad de pulsos de radar emitidos, que se correlacionan con posiciones acimutales correspondientes, respectivamente muestras de datos para una pluralidad de así denominadas posiciones de rango, que representan diferentes distancias entre la superficie terrestre y la dirección acimutal y por tanto representan ecos de radar de diferentes direcciones. Las posiciones de rango se pueden indicar como así denominado *Slant-Range* (rango oblicuo o distancia oblicua) o como así denominado *Ground-Range* (rango o distancia de suelo). El rango oblicuo se corresponde a este respecto con la distancia entre el dispositivo de radar y la superficie terrestre en la dirección desde la que se recibe un eco de radar. El rango de tierra se corresponde con la proyección del rango oblicuo sobre la superficie terrestre. Ambas magnitudes se pueden convertir una en otra.
- 15 **[0004]** En sistemas SAR convencionales existe el problema de que en los datos brutos SAR puede aparecer una superposición de diferentes pulsos de radar debido a la recepción simultánea de sus ecos, con lo que está ligado un empeoramiento de la calidad de las imágenes SAR procesadas. A este respecto, se consideran como especialmente molestos los ecos de radar que se reciben del nadir, es decir, desde la dirección perpendicular a la superficie terrestre, por el dispositivo de radar.
- 20 **[0005]** Para evitar la recepción simultánea de ecos de radar en sistemas SAR, la tasa de repetición de pulsos de los pulsos de radar y la posición o anchura de la franja de la superficie terrestre detectada con el sistema SAR se pueden adaptar entre sí de forma apropiada, por lo que los ecos de radar de esta franja siempre se reciben en diferentes momentos. No obstante, de este modo se limita la anchura de la franja. Asimismo, es conocido emitir los pulsos de radar como formas de onda que son ortogonales entre sí. De este modo se evita el efecto de la superposición de ecos recibidos simultáneamente, no obstante, se produce antes como ahora una pérdida de calidad claramente perceptible en las imágenes SAR.
- 25 **[0006]** El documento VISHAL RICHE ET AL: "Optimization of OFDM SAR signals for range ambiguity suppression", RADAR CONFERENCE (EURAD), 2012 9TH EUROPEAN, IEEE, 31 de octubre 2012 (2012-10-31), páginas 278-281, da a conocer un procedimiento según el preámbulo de la reivindicación 1. A este respecto, las ambigüedades de rango se suprimen puramente a través del uso de pulsos de radar con formas de onda ortogonales.
- 30 **[0007]** El documento KIM JUNG-HYO ET AL: "Spaceborne MIMO Synthetic Aperture Radar for Multimodal Operation", IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, Vol. 53, n.º 5, 1 de mayo de 2015 (2015-05-01), páginas 2453-2466, da a conocer un sistema MIMO-SAR, en el que los pulsos de radar se emiten a través de varias antenas emisoras y se reciben a través de varias antenas receptoras.
- 35 **[0008]** En el documento WO 97/42520 A1 se describe un sistema de radar, en el que se emiten los pulsos de radar que contienen varios subpulsos coherentes. Gracias a autocorrelaciones y correlaciones cruzadas se suprimen las ambigüedades de rango y ambigüedades de efecto Doppler.
- 40 **[0009]** El objeto de la invención es crear un procedimiento y un dispositivo para el procesamiento asistido por ordenador de datos brutos SAR, que conduzca a una supresión mejorada de señales parásitas, que se provocan por los ecos de radar recibidos simultáneamente.
- 45 **[0010]** Este objeto se consigue mediante el procedimiento según la reivindicación 1 o el dispositivo según la reivindicación 9. Perfeccionamientos de la invención están definidos en las reivindicaciones dependientes.
- 50 **[0011]** El procedimiento según la invención sirve para el procesamiento asistido por ordenador de datos brutos SAR, que comprenden ecos de radar de pulsos de radar, que se han emitido por un dispositivo de radar con una o varias antenas de radar en al menos un objeto volador que se mueve en una dirección acimutal sobre la superficie terrestre. A este respecto, los ecos de radar se han recibido y detectado por el dispositivo de radar arriba mencionado.
- 55 **[0011]** Por tanto, el dispositivo de radar comprende tanto una o varias antenas emisoras, como también una o varias antenas
- 60

emisoras, donde una respectiva antena puede funcionar eventualmente tanto como antena emisora y también como antena receptora.

**[0012]** El término arriba mencionado del al menos un objeto volador se debe entender de forma amplia y en una variante puede comprender un objeto volador individual con un dispositivo de radar situado en él. Asimismo, el al menos un objeto volador puede comprender dos o varios objetos voladores que se mueven de forma síncrona, donde en este caso se distribuye el dispositivo de radar sobre varios objetos voladores. Por ejemplo, una antena emisora del dispositivo de radar puede estar prevista solo en un objeto volador, pero donde en todos los objetos voladores están integradas antenas receptoras para el eco de radar desde diferentes ángulos de visión.

**[0013]** Los datos brutos SAR contienen para cada pulso de radar muestras de datos para varias posiciones de rango, donde las

posiciones de rango representan diferentes distancias entre la superficie terrestre y la dirección acimutal. Según la forma de realización, las posiciones de rango se pueden indicar como rango oblicuo o como rango de tierra. En los datos brutos SAR existen un eco de radar parásito y un pulso parásito respecto a un respectivo pulso de radar. En este sentido, a un respectivo pulso de radar están asociados un eco de radar parásito y un pulso parásito. El eco de radar parásito es un eco de radar del pulso parásito para una primera posición de rango, es decir, el eco de radar del pulso parásito procede de esta primera posición de rango. El eco de radar parásito se destaca porque se recibe simultáneamente con un eco de radar del respectivo pulso de radar para una segunda posición de rango (es decir, la posición de rango de la que procede el eco de radar del respectivo pulso de radar) mediante el dispositivo de radar. El término del eco de radar parásito recibido simultáneamente se debe entender aquí y a continuación de manera que el eco de radar parásito presenta, teniendo en cuenta la resolución en la dirección de rango (es decir, con la inexactitud de una celda de resolución correspondiente), una (primera) posición de rango  $R_0$  que satisface la condición siguiente:

$$R_0 = R + k \frac{c_0}{2PRF}$$

**[0014]** A este respecto  $R$  designa la (segunda) posición de rango del eco de radar del respectivo pulso de radar. Además,  $k$  designa un valor entero y  $PRF$  se corresponde con la frecuencia de repetición de pulso con la que se emiten los pulsos de radar. Además,  $c_0$  se corresponde con la velocidad de la luz. La condición arriba mencionada se indica más abajo de nuevo especialmente para el eco de nadir (véase la ecuación (1)). La primera y segunda posición de rango son iguales en el procedimiento de la reivindicación 1 por encima de todos los pulsos de radar y pulsos parásitos.

**[0015]** El pulso parásito pertenece a los pulsos de radar emitidos por el dispositivo de radar. No obstante, es un pulso de radar diferente del respectivo pulso de radar al que está asociado el pulso parásito. Además, el pulso parásito y el respectivo pulso de radar presentan formas de onda ortogonales. El término de las formas de onda ortogonales se conoce por el experto en la materia. Las formas de onda ortogonales se destacan porque su producto escalar es igual a cero. Debido a la variación apropiada de formas de onda de los pulsos de radar emitidos se puede garantizar esta ortogonalidad.

**[0016]** En una etapa a) del procedimiento según la invención se focalizan los datos brutos SAR por medio de una primera focalización en los pulsos parásitos asociados a los respectivos pulsos de radar, por lo que se obtienen los primeros datos focalizados. A este respecto, en el marco de la primera focalización se lleva a cabo una compresión de rango y una compresión acimutal. Los métodos de la compresión de rango y acimutal se conocen en sí y se explican más en detalle en la descripción detallada. La compresión de rango se implementa mediante la aplicación de un filtro o un filtrado en los datos brutos de cada pulso de radar. Convencionalmente, este filtrado está adaptado a la forma de onda del respectivo pulso de radar. Según la invención, en la etapa a) ahora se modifica el filtrado de manera que ya no está adaptado a la forma de onda del respectivo pulso de radar, sino a la forma de onda del pulso parásito asociado al respectivo pulso de radar. En particular, el filtrado se implementa a este respecto de modo que los datos brutos del respectivo pulso de radar se convolucionan (temporalmente) con una función, que se corresponde con la forma de onda invertida temporalmente y conjugada compleja del pulso parásito asociado. La convolución se determina preferentemente a través de una multiplicación en el dominio de frecuencias de las señales. Gracias a la etapa a) del procedimiento según la invención se obtienen por consiguiente primeros datos focalizados, que están focalizados en el eco de radar parásito.

**[0017]** En una etapa b) del procedimiento según la invención, los primeros datos focalizados se someten a una supresión de señal, que suprime al menos parcialmente el eco de radar parásito focalizado ahora y limitado localmente con ello. De manera conocida en sí, en una etapa c) siguiente los segundos datos focalizados se someten a una desfocalización, por lo que se obtienen datos brutos SAR modificados. A este respecto, la desfocalización contiene una descompresión de rango y una descompresión acimutal, que son inversas respecto a la compresión de rango y acimutal arriba mencionada de la primera focalización. Los procedimientos correspondientes para la descompresión de rango y descompresión acimutal se conocen en sí a este respecto. En el marco de la descompresión de rango se aplica un filtrado, que es inverso respecto al filtrado arriba mencionado de la compresión de rango. En particular, en

este filtrado se lleva a cabo una convolución de la señal del respectivo pulso de radar, que en el dominio de frecuencias se corresponde con una multiplicación por la inversa del conjugado complejo de la forma de onda del pulso parásito asociado.

5 **[0018]** El procedimiento según la invención se destaca porque los datos brutos SAR se modifican de manera que los pulsos de radar parásitos, que se reciben simultáneamente con otros pulsos de radar, se suprimen en los datos brutos. En este caso se hace uso del conocimiento de que un pulso parásito se puede focalizar análogamente a otro pulso de radar en los datos y a continuación se puede suprimir este pulso focalizado de forma apropiada. Debido a las formas de onda ortogonales del pulso parásito y del pulso de radar correspondiente, la información de imágenes de la señal útil se conserva a excepción de una degradación mínima y por consiguiente despreciable.

15 **[0019]** En una variante preferida del procedimiento según la invención, los datos brutos modificados se focalizan por medio de una segunda focalización sobre los respectivos pulsos de radar, por lo que se obtienen terceros datos focalizados, que se corresponden entonces con una imagen de radar SAR. En el marco de la segunda focalización se lleva a cabo una compresión de rango conocida en sí y una compresión acimutal conocida en sí, donde para la compresión de rango de un respectivo pulso de radar se aplica ahora un filtrado que está adaptado a la forma de onda del respectivo pulso de radar. En particular, los datos brutos del respectivo pulso de radar se convolucionan (temporalmente) a este respecto con su forma de onda invertida temporalmente y conjugada compleja. La forma de realización descrita en este momento siempre se usa preferentemente luego cuando solo se debe suprimir un pulso parásito para cada eco radar.

25 **[0020]** En otra variante de la invención también es posible que a un respectivo pulso de radar estén asociados junto al pulso parásito arriba mencionado otros pulsos parásitos, a los que pertenecen una primera y/o segunda posición de rango diferente en comparación al pulso parásito arriba mencionado. En este caso, las etapas a) a c) se pueden repetir de forma iterativa para los respectivos pulsos parásitos, donde al comienzo de cada repetición se igualan los datos brutos SAR con los datos brutos SAR modificados obtenidos en último término. Tras finalizar las repeticiones se aplica preferentemente la segunda focalización arriba descrita sobre los datos brutos modificados obtenidos, por lo que se genera de nuevo una imagen SAR focalizada.

30 **[0021]** En una forma de realización especialmente preferida, el eco de radar parásito suprimido en el procedimiento según la invención es un eco de nadir, cuya primera posición de rango se corresponde con la distancia más corta entre la superficie terrestre y la dirección acimutal. En otras palabras, este eco se recibe desde la dirección perpendicularmente a la superficie terrestre por el dispositivo de radar y procede por consiguiente del nadir. Habitualmente los datos brutos SAR solo contienen un único eco de nadir para un respectivo pulso de radar. El eco de nadir se considera como especialmente molesto en las imágenes SAR y se expresa en la forma de una franja clara en la imagen focalizada.

40 **[0022]** En otra forma de realización preferida, los pulsos de radar son formas de onda moduladas en frecuencia y preferentemente lineales moduladas en frecuencia. Estas formas de onda se designan habitualmente como gorjeos.

45 **[0023]** En una variante preferida, todos los pulsos de radar presentan la misma duración de pulso, donde la forma de onda de un pulso de radar emitido se corresponde con la forma de onda del pulso de radar anteriormente emitido, desplazada cíclicamente dentro de la duración de pulso. A este respecto, un desplazamiento cíclico se debe entender de manera que el pulso de radar se desplaza a lo largo del eje de tiempo, donde la parte del pulso de radar, que migra fuera de la ventana de tiempo de la duración de pulso, se mete en el otro extremo de la ventana de tiempo. Por medio de un desplazamiento cíclico semejante se pueden conseguir de manera sencilla pulsos de radar con formas de onda ortogonales.

50 **[0024]** En otra forma de realización, las formas de onda ortogonales de los pulsos de radar se consiguen de modo que los pulsos de radar se emiten en secuencias repetitivas de pulsos de radar sucesivos, donde las formas de onda  $s_i(t)$  de los pulsos de radar dentro de una secuencia rezan como sigue:

$$s_i(t) = \begin{cases} e^{j\pi \frac{B}{T} \left( t - t_i - T \left( \frac{t + \frac{T}{2} - t_i}{T} \right) \right)^2}, & -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} \\ 0, & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

55 donde  $i$  indica los pulsos de radar sucesivos de la secuencia y es válido  $i = 0, \dots, 2BT-1$ , donde  $B$  representa la anchura de banda del pulso de radar y  $T$  representa la duración de pulso;

donde es válido

$$t_i = \frac{i(i+1)}{2B} - T \left\lfloor \frac{i(i+1) + BT}{2BT} \right\rfloor$$

- 5 **[0025]** La expresión [1] representa a este respecto el mayor número entero que sea menor o igual al argumento de la expresión.
- [0026]** La supresión de señal llevada a cabo en el procedimiento según la invención se puede implementar de distinta manera. En una variante, la supresión de señal está configurada de manera que para un respectivo pulso de radar se determina la segunda posición de rango y la señal en los primeros datos focalizados se suprime al menos parcialmente esencialmente solo en la segunda posición de rango. Esta variante se usa preferentemente para la supresión del eco de nadir, pues la posición del eco de radar, que se perturba por el eco de nadir, se puede determinar de manera sencilla (véase la ecuación (1) en la descripción detallada).
- 10 **[0027]** En otra variante del procedimiento según la invención, la supresión de señal está configurada de manera que un valor umbral se aplica en las señales en todos los primeros datos focalizados, de modo que todas las señales por encima del valor umbral se truncan al valor umbral o de modo que alternativamente las señales solo se ponen a cero en las posiciones que sobrepasan el valor umbral y por lo demás permanecen de forma no alterada. En este caso ya no se deben determinar más posiciones de rango correspondientes de los pulsos de radar, que se perturban mediante ecos de radar parásitos recibidos simultáneamente.
- [0028]** Junto al procedimiento arriba descrito, la invención se refiere a un dispositivo para el procesamiento asistido por ordenador de datos brutos SAR, que comprenden ecos de radar de los pulsos de radar, que se han emitido por un dispositivo de radar en al menos un objeto volador que se mueve en una dirección acimutal sobre la superficie terrestre. A este respecto, los ecos de radar de los pulsos de radar se han recibido y detectado mediante el dispositivo de radar, donde los datos brutos SAR para cada pulso de radar contienen muestras de datos para varias posiciones de rango y las posiciones de rango representan diferentes distancias entre la superficie terrestre y la dirección acimutal. En los datos brutos SAR existen un eco de radar parásito y un pulso parásito respecto a un respectivo pulso de radar, donde el eco de radar parásito es un eco de radar del pulso parásito para una primera posición de rango y el eco de radar parásito se recibe simultáneamente con un eco de radar del respectivo pulso de radar para una segunda posición de rango mediante el dispositivo de radar. El pulso parásito es un pulso de radar diferente del respectivo pulso de radar. Además, el pulso parásito y el respectivo pulso de radar presentan formas de onda ortogonales.
- 25 **[0029]** El dispositivo según la invención está configurado de manera que está establecido para la realización de las etapas a) a c) del procedimiento según la invención. En otras palabras, el dispositivo comprende una unidad de procesamiento de señales apropiada para llevar a cabo las etapas a) a c).
- 30 **[0030]** En una forma de realización especialmente preferida, el dispositivo según la invención está establecido para llevar a cabo una o varias variantes preferidas del procedimiento según la invención.
- 40 **[0031]** La invención se refiere además a un producto de programa informático con un código de programa almacenado en un soporte legible a máquina para llevar a cabo el procedimiento según la invención o una o varias variantes preferidas del procedimiento según la invención, cuando el código de programa se ejecuta en un ordenador.
- 45 **[0032]** Además, la invención comprende un programa informático con un código de programa para llevar a cabo el procedimiento según la invención o una o varias variantes preferidas del procedimiento según la invención, cuando el código de programa se ejecuta en un ordenador.
- [0033]** Un ejemplo de realización de la invención se describe a continuación de forma detallada mediante las figuras adjuntas.
- 50 **[0034]** Muestran:
- Fig. 1 una representación esquemática, mediante la que se explica el principio SAR usado en el marco de la invención;
- 55 Fig. 2 un diagrama de flujo, que clarifica la realización de una variante del procedimiento según la invención; y
- Fig. 3 un diagrama que muestra las formas de onda de pulsos de radar, que se usan en una forma de realización de la invención.
- 60

- [0035]** La fig. 1 muestra en representación esquemática un dispositivo de radar SAR 1, que está indicado como apertura rectangular y según la configuración comprende una o varias antenas. En el escenario representado, el dispositivo de radar se sitúa en un satélite (no mostrado), que se mueve a la altura  $h$  a lo largo de la trayectoria de radar RT por encima de la superficie terrestre GR. La dirección de la trayectoria de radar se corresponde a este respecto a la dirección acimutal conocida en sí, que está designada en la fig. 1 con las referencias  $x$ . En lugar de mover el dispositivo de radar por medio de un satélite, eventualmente también existe la posibilidad de usar para ello otro objeto volador, como p. ej. un avión.
- [0036]** El dispositivo de radar 1 emite los pulsos de radar RP en intervalos de repetición de pulso sucesivos con frecuencia de repetición de pulso predeterminada en la dirección oblicua hacia la superficie terrestre GR. La mayor parte de la energía de un respectivo pulso de radar está dirigida a este respecto hacia la superficie elíptica FP sobre la superficie terrestre. Esta superficie se designa en general como "Footprint" o "huella de pie" del dispositivo de radar o de la antena de radar asociada.
- [0037]** Según la fig. 1, un respectivo pulso de radar RP presenta una duración de pulso predeterminada  $T$ , de modo que el pulso de radar tiene la extensión espacial  $c_0T$ , donde  $c_0$  se corresponde con la velocidad de la luz. En el marco de una medición SAR se reciben y detectan los ecos de radar de los pulsos de radar RP dispersados de vuelta por la superficie terrestre mediante el dispositivo de radar 1 durante su movimiento a lo largo de la trayectoria RT. De esta manera se detecta información sobre la superficie terrestre en la franja SW (en inglés: "swath"). A este respecto, el dispositivo de radar está configurado de manera que está establecido tanto para la emisión de pulsos de radar, como también para la recepción de ecos de radar correspondientes. Los ecos de radar detectados por el dispositivo de radar dependen de la forma y naturaleza de la superficie terrestre y posibilitan con un procesamiento de señal conocido, aguas abajo el cálculo de imágenes SAR de la superficie terrestre.
- [0038]** Antes del procesamiento de señales aguas abajo, los ecos de radar detectados están presentes como así denominados datos brutos SAR después de la conversión analógica - digital. Estos datos brutos son muestras de datos, que contienen las amplitudes y la fase de los ecos de radar muestreados. A este respecto, los datos brutos están dispuestos en una matriz bidimensional, donde una dimensión de la matriz se corresponde con el respectivo pulso de radar emitido (representado por un número de pulso) y la otra dimensión de la matriz representa un retardo temporal, que representa la duración que necesita un eco de radar muestreado para la propagación del dispositivo de radar hacia la superficie terrestre y de vuelta al dispositivo de radar 1. En otras palabras, debido a esta duración se representa el así denominado *Slant-Range* (rango oblicuo o distancia oblicua)  $R$ , que se corresponde con la distancia entre el dispositivo de radar y con el punto de dispersión del eco de radar sobre la superficie terrestre. Esta distancia se puede igualar por consiguiente con una dirección desde la que el eco de radar muestreado llega de la superficie terrestre GR hacia el dispositivo de radar 1.
- [0039]** En el escenario de la fig. 1 está indicada a modo de ejemplo la reflexión de un eco de radar en el punto de dispersión P sobre la superficie terrestre. El rango oblicuo de este eco de radar está designado a este respecto con  $R_0$ . El rango oblicuo está en relación geométrica respecto al así denominado *Ground-Range* (rango o distancia de suelo), que está designado en la fig. 1 con  $y$  y representa la distancia entre la trayectoria de nadir NT y el punto de dispersión correspondiente. El valor de un rango oblicuo  $R$  se puede convertir por ello de forma unívoca en el valor de un correspondiente rango de tierra  $y$ . La trayectoria de nadir NT es a este respecto la proyección perpendicular de la trayectoria de radar RT sobre la superficie terrestre GR. La posición N en la trayectoria NT es el así denominado nadir, es decir, el punto sobre la superficie terrestre con la distancia más corta respecto al dispositivo de radar. Un eco de radar del nadir N se designa como eco de nadir.
- [0040]** Según se menciona ya, los datos brutos SAR se someten a un procesamiento de señales aguas abajo. Según la configuración, este procesamiento de señales se puede realizar ya en el satélite, donde a continuación se envía la información procesada a una estación terrestre sobre la superficie terrestre. Asimismo, es posible que los datos brutos SAR se envíen a la estación terrestre sin procesamiento posterior, donde en la estación terrestre se realiza el procesamiento posterior a fin de obtener imágenes SAR correspondientes a partir de los datos brutos. El procesamiento posterior comprende dos operaciones de filtrado, que se llevan a cabo a lo largo de la dirección de rango  $R$  o  $y$  y a lo largo de la dirección acimutal  $x$ . La operación de filtrado a lo largo de la dirección de rango se designa con frecuencia como compresión de rango y la operación de filtrado a lo largo de la dirección acimutal como compresión acimutal. Con estas operaciones se consigue una focalización de los datos brutos SAR, a fin de calcular de este modo las imágenes SAR.
- [0041]** En el marco de la compresión de rango, para las muestras de datos en la dirección de rango de los ecos de radar de cada pulso de radar se aplica un filtro adaptado a la señal (en inglés: "matched filter"), en tanto que las muestras de datos se convolucionan a lo largo de la dirección de rango y por consiguiente a lo largo del eje de tiempo con la función  $h(t)$ , que se deduce de la forma de onda  $s(t)$  conjugada compleja e invertida temporalmente del pulso de radar correspondiente, es decir, es válido:

$$h(t) = s^*(-t)$$

[0042] Por medio de esta compresión de rango se maximiza la relación SNR (SNR = *Signal to Noise Ratio* [relación entre señal y ruido]) de la señal y se localiza el punto de dispersión en la posición de rango correcta.

5

[0043] Junto a la compresión de rango se lleva a cabo la compresión acimutal arriba mencionada. Tal y como la compresión de rango, la compresión acimutal también se conoce en sí y por ello no se explica en detalle. En la compresión acimutal se aprovecha el hecho de que los puntos de dispersión sobre la superficie terrestre con diferentes ángulos acimutales en referencia a la trayectoria de radar RT presentan desplazamientos de frecuencia en los ecos de radar debido al efecto Doppler. Mediante el análisis del espectro de frecuencia Doppler se puede localizar un punto de dispersión sobre la superficie terrestre en la dirección acimutal. La compresión acimutal conduce por consiguiente a una agudización de los datos en la dirección acimutal.

10

[0044] En el caso de la detección de datos SAR existe el problema de que un eco de radar significativo también se recibe del nadir N fuera de la franja SW. En general, por tanto, se produce el caso de que se superpone un eco de radar para una posición de rango determinada con el eco de nadir de un pulso de radar emitido posteriormente, dado que el eco de nadir se detecta por el dispositivo de radar al mismo tiempo que el eco de radar observado debido al trayecto más corto. Para la posición de rango  $R_0$  mostrada en la fig. 1 aparece un eco de nadir luego cuando se satisface la siguiente condición:

20

$$R_0 = h + k \frac{c_0}{2PRF} \quad (1)$$

[0045] A este respecto,  $k$  designa un valor entero y  $PRF$  se corresponde con la frecuencia de repetición de pulso con la que se emiten los pulsos de radar.  $h$  es la altura ya mencionada al inicio del dispositivo de radar sobre la superficie terrestre GR y  $c_0$  se corresponde con la velocidad de la luz.

25

[0046] Aunque el dispositivo de radar 1 debe concentrar la energía en la franja SW, el eco de nadir no se puede impedir debido a las propiedades especiales del proceso de dispersión (reflexión especular). El eco de nadir puede ser eventualmente más fuerte que el eco de radar superpuesto con él. El eco de nadir puede empeorar claramente la calidad de una imagen SAR focalizada. El eco de nadir aparece en la imagen SAR como una franja clara en la posición sobre la superficie terrestre, que se corresponde con la posición de rango del eco de radar que se perturba por el eco de nadir.

30

[0047] Convencionalmente se evitan los ecos de nadir en las imágenes SAR, porque la frecuencia de repetición de pulso y la longitud o anchura de la franja detectada sobre la superficie terrestre se adaptan entre sí, de modo que los ecos de nadir no aparecen dentro de la franja. No obstante, de este modo se limita la anchura de la franja y además se empeora el rendimiento del sistema SAR en referencia a las ambigüedades (en inglés: "ambiguities"). A este respecto, para la mejora del rendimiento se puede requerir aumentar la complejidad del sistema, p. ej., en tanto que se aumenta el tamaño de las antenas de radar.

40

[0048] En el marco de la invención se usa un nuevo enfoque en el procesamiento de señales de los datos brutos SAR, a fin de suprimir el eco de nadir de forma fiable a partir de estos datos. Este nuevo enfoque se explica a continuación mediante la fig. 2. El punto de partida del procedimiento de la fig. 2 son los datos brutos SAR detectados originalmente, que están designados con RD. Según se ha mencionado ya al inicio, los datos brutos SAR para cada pulso de radar contienen los muestreos de datos para una pluralidad de posiciones de rango. Los datos brutos para un respectivo pulso de radar se designan en la fig. 2 con  $RD_i$ , donde  $i$  indica el pulso de radar correspondiente. A modo de ejemplo, los datos brutos se representan por una imagen, que contiene dos objetos en la forma de una casa y de un árbol, donde ambos objetos se emborronan en los datos brutos SAR, según está indicado por manchas representadas a puntos. Los datos brutos contienen además un eco de nadir, que está indicado por una franja vertical ancha en la posición de rango, de la que se recibe el eco de radar que se superpone con el eco de nadir. Esta franja está indicada en la fig. 1 por un patrón cuadrado.

45

50

[0049] Para la implementación del procedimiento según la invención, en la detección de los datos brutos SAR se ha garantizado que los pulsos de radar se emiten en secuencias repetitivas de formas de onda ortogonales entre sí, es decir, cada par de formas de onda dentro de una secuencia presenta un producto escalar de cero. En la forma de realización aquí descrita, las formas de onda dentro de una secuencia son gorjeos desplazados cíclicamente, donde un gorjeo es una forma de onda modulada en frecuencia linealmente con duración de pulso predeterminada. Un gorjeo correspondiente  $s(t)$  se da a este respecto mediante la siguiente ecuación:

55

$$s_i(t) = \begin{cases} e^{j\pi \frac{B}{T} \left( t - t_i - T \left( \frac{t + \frac{T}{2} - t_i}{T} \right) \right)^2}, & -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} \\ 0, & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad (2)$$

**[0050]** A este respecto  $T$  designa la duración de pulso del gorjeo,  $B$  es la anchura de banda de la forma de onda (es decir, la anchura de banda de las frecuencias contenidas aquí) e  $i$  representa el pulso  $i$  dentro de una secuencia. La magnitud  $t_i$  establece a este respecto la magnitud del desplazamiento cíclico, donde  $t_i$  está definido como sigue:

$$t_i = \frac{i(i+1)}{2B} - T \left\lfloor \frac{i(i+1) + BT}{2BT} \right\rfloor, \quad i = 0, \dots, 2BT - 1 \quad (3)$$

10 **[0051]** Una secuencia contiene por consiguiente  $2BT$  pulsos que se diferencian entre sí por desplazamientos cíclicos. Un desplazamiento cíclico significa a este respecto que el pulso se desplaza en la dirección del eje de tiempo y la sección del pulso, que sobrepasa de este modo el límite de la duración de pulso en  $T/2$ , se agrega en el extremo delantero de la duración de pulso en  $-T/2$ .

15 **[0052]** El desplazamiento cíclico descrito en este momento de los pulsos para la consecución de formas de onda ortogonales está indicado en el diagrama DI de la fig. 3. A este respecto, el diagrama parcial DI1 muestra la parte real del pulso  $s_0(T)$  arriba mencionado, mientras que el diagrama DI2 reproduce la parte imaginaria de este pulso. Frente a ello, el diagrama DI3 muestra la parte real del pulso para un índice  $i$ , que se corresponde con un desplazamiento de 0,3 ms, mientras que el diagrama DI4 reproduce la parte imaginaria correspondiente. Por los  
20 diagramas DI1 a DI4 se ve gráficamente que tanto las partes reales como también las partes imaginarias de las formas de onda de pulso están desplazadas dentro de la duración de pulso a lo largo del eje de tiempo. Mediante el uso de las formas de onda ortogonales arriba mencionadas se garantiza que el eco de nadir presente en el procesamiento de la fig. 2 una forma de onda que sea ortogonal a la forma de onda del pulso que llega simultáneamente con el eco de nadir.

25 **[0053]** En el procesamiento de señales de la fig. 2 se lleva a cabo en primer lugar una primera focalización FC1 de los datos brutos SAR. En el marco de esta primera focalización se lleva a cabo una primera compresión de rango RC1 para los respectivos pulsos. Los datos comprimidos de rango se comprimen además por medio de una primera compresión acimutal AC1 en la dirección acimutal. En la fig. 2, la compresión de rango RC1 y la compresión acimutal  
30 AC1 y análogamente también las compresiones RC2 y AC2 así como las descompresiones correspondientes RDE y ADE están representadas como etapas separadas por motivos de visibilidad. En general, estas compresiones y correspondientemente también las descompresiones están intercaladas unas en otras, a fin de corregir otros efectos, como la "range cell migration" [migración de celda de rango] conocida en sí.

35 **[0054]** En el marco de la primera compresión de rango RC1, los datos brutos SAR  $RD_i$  correspondientes de cada pulso de radar se someten a un primer filtrado FI1. En un filtrado semejante se lleva a cabo una convolución temporal, que se calcula en el dominio de frecuencias en la forma de realización aquí descrita. Para ello, los datos brutos  $RD_i$  se someten en primer lugar a una transformada FFT (FFT = *Fast-Fourier-Transformation* [transformada rápida de Fourier]) y a continuación se multiplica la señal obtenida de este modo por la transformada de Fourier de una respuesta de impulso. A diferencia de una compresión de rango convencional, esta respuesta de impulso no se basa a este respecto en el pulso  $i$  recién procesado, sino en el pulso de radar que pertenece al eco de nadir. En el escenario representado, este pulso de radar tiene el índice  $(i+k)$ , es decir, es el pulso de radar  $k$  después del pulso de radar  $i$  observado.

45 **[0055]** Por tanto, en el filtrado FI1 se realiza una multiplicación por la función  $H_{+k}^*(f)$ , que es la transformada de Fourier de la función  $h_{i+k}(t) = s_{i+k}^*(-t)$ , donde  $s_{i+k}(t)$  se corresponde con el gorjeo desplazado cíclicamente del pulso de radar  $(i+k)$ . A continuación, se lleva a cabo una transformada IFFT (IFFT = *Inverse Fast-Fourier-Transformation* [transformada rápida de Fourier inversa]). Después del filtrado de todos los pulsos de radar sigue la primera compresión acimutal AC1, que no se diferencia de una compresión acimutal convencional según el estado de la técnica  
50 y por tanto no se describe en detalle. No obstante, una particularidad es que esta compresión acimutal no está adaptada a la distancia de la imagen de la señal útil, sino a la distancia del eco de nadir. Finalmente se obtienen los primeros datos DA1 en la forma de una imagen SAR, en la que está focalizado el eco de nadir sin que se pierda la señal útil. En otras palabras, los datos DA1 contienen ahora un eco de nadir en la forma de una línea vertical estrecha,

mientras que los datos útiles se mantienen casi completamente en la forma de manchas en la imagen. A este respecto, los datos útiles están emborronados adicionalmente, lo que está indicado por otro rayado de las manchas en comparación a los datos brutos RD.

5 **[0056]** Los datos DA1 se someten a continuación a una supresión de señal SU. Dado que la posición del eco de radar perturbado por el eco de nadir se conoce a partir de la geometría de la medición SAR (véase la ecuación (1)), en la forma de realización aquí descrita se suprime la señal de forma dedicada ahora en el lugar del pulso de radar parásito en los datos DA1. Como consecuencia se obtienen los datos DA2 en la forma de una imagen SAR, en la que se ha retirado el eco de nadir. Las muestras de los datos DA2 para un pulso de radar con índice  $i$  se designan a este  
10 respecto con DA2 <sub>$i$</sub> .

**[0057]** A continuación, los datos DA2 se someten a una desfocalización DF conocida en sí, que comprende una descompresión de rango RDE y una descompresión acimutal ADE. En el marco de la descompresión de rango se lleva a cabo un filtrado inverso FI2. Este se realiza de nuevo en el dominio de frecuencias. Por consiguiente, en primer  
15 lugar, se lleva a cabo una transformada FFT de las muestras DA2, seguido por una multiplicación por el valor inverso de la función arriba mencionada  $H_{i+k}''(f)$  así como una transformada IFFT siguiente. Junto a la descompresión de rango RDE se aplica la descompresión acimutal ADE en los datos de manera conocida en sí. Dado que esta descompresión acimutal se realiza con procedimientos conocidos en sí, aquí no se describe en detalle.

20 **[0058]** Después de la desfocalización DF se obtienen los datos brutos modificados RD', que a excepción de una degradación mínima se corresponde con los datos brutos originales RD y de los que está retirado el eco de nadir. Estos datos brutos modificados RD' se someten entonces a una segunda focalización FC2, no obstante, en la que en el marco de la compresión de rango RC2 se usa ahora un filtrado FI3, que está adaptado a los respectivos pulsos de radar. En el marco de este filtrado, los datos brutos modificados RD' <sub>$i$</sub>  de un respectivo pulso de radar se someten de  
25 nuevo a una transformada FFT, donde a continuación se realiza una multiplicación por la función  $H_i^*(f)$ , que es la transformada de Fourier de la función  $h_i(t) = s_i^*(-f)$ , donde  $s_i(t)$  se corresponde con el gorjeo del pulso de radar  $i$ . Finalmente, la señal se transforma de nuevo con una transformada IFFT en el período. Junto a la segunda compresión de rango RC2 se lleva a cabo una segunda compresión acimutal AC2 de manera conocida en sí.

30 **[0059]** Debido a la segunda focalización FC2 se obtienen finalmente los terceros datos DA3, que se corresponden con una imagen SAR focalizada que ya no contiene el eco de nadir. Tal y como se reconoce de la fig. 2, en esta imagen se ven ahora los dos objetos en la forma de una casa y un árbol, sin que la imagen contenga una franja parásita provocada por el eco de nadir.

35 **[0060]** La forma de realización descrita anteriormente de la invención presenta una serie de ventajas. En particular, en el marco del procesado de datos brutos SAR se lleva a cabo en primer lugar una primera focalización sobre el eco de nadir, en tanto que el filtrado se adapta a la forma de onda del pulso, cuyo eco de radar se corresponde con el eco de nadir. De esta manera, el eco de nadir se focaliza y se puede retirar en datos obtenidos de este modo con una supresión de señal apropiada. A través de una desfocalización siguiente se obtienen los datos brutos  
40 modificados sin eco de nadir, que se pueden transformar entonces con una segunda focalización, ahora adaptada a la señal útil, en la imagen SAR, que entonces ya no contiene un eco de nadir. Por consiguiente, no se deben observar limitaciones en referencia a la frecuencia de repetición de pulso de los pulsos de radar y el eco de nadir se puede quitar esencialmente completamente. Mediante el uso de formas de onda ortogonales se garantiza simultáneamente, que se conserve la información a partir de los datos útiles con una pequeña degradación despreciable.

45 **[0061]** La forma de realización arriba mencionada de la invención se ha explicado mediante la supresión de un eco de nadir. No obstante, la invención también se puede usar para quitar las así denominadas ambigüedades de rango (también ambigüedades de distancia o en inglés: "range ambiguities") a partir de los datos brutos SAR. Las ambigüedades de rango aparecen entonces cuando se reciben simultáneamente dentro de la franja detectada de la  
50 superficie terrestre los ecos de radar a partir de diferentes posiciones de rango. Para una posición de rango puede aparecer una ambigüedad de rango a este respecto en una o también en varias otras posiciones de rango. Para suprimir tales ambigüedades de rango para una posición de rango predeterminada (con el pulso de radar  $i$  asociado), para cada ambigüedad de rango, que está representada entonces por un pulso parásito con el índice  $(i+k)$  (donde  $k$  también puede ser eventualmente negativo), se llevan a cabo de forma iterativa las etapas de la fig. 2 hasta la  
55 obtención del eco de radar modificado RD'. En el procesamiento de una nueva ambigüedad de rango se igualan a este respecto los datos brutos RD con los datos brutos modificados RD'. Las etapas arriba mencionadas también se pueden repetir de forma iterativa para varias posiciones de rango, en las que existen respectivamente ambigüedades en otras posiciones de rango. A diferencia de la supresión de señal arriba descrita para el eco de nadir, la supresión de ambigüedades de rango se basa en un valor umbral, donde todas las señales, que se sitúan por encima del valor  
60 umbral dentro de los datos DA1, se truncan al valor umbral. Alternativamente, las señales solo se ponen a cero en las posiciones que sobrepasan el valor umbral.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el procesamiento asistido por ordenador de datos brutos SAR (RD), que comprenden ecos de radar de pulsos de radar (RD), que se han emitido por un dispositivo de radar (1) en al menos un objeto volador que se mueve en una dirección acimutal (x) sobre la superficie terrestre (GR), donde los ecos de radar de los pulsos de radar (RP) se han recibido y detectado por el dispositivo de radar (1) y donde los datos brutos SAR (RD) para cada pulso de radar (RP) contienen muestras de datos para varias posiciones de rango, donde las posiciones de rango representan diferentes distancias (R) entre la superficie terrestre (GR) y la dirección acimutal (x), donde a un respectivo pulso de radar (RP) está asociado un eco de radar parásito y un pulso parásito, donde el eco de radar parásito es un eco de radar del pulso parásito para una primera posición de rango y el eco de radar parásito se recibe simultáneamente con un eco de radar del respectivo pulso de radar (RP) para una segunda posición de rango por el dispositivo de radar (1), donde el pulso parásito es otro pulso de radar (RP) como el respectivo pulso de radar (RP) y donde el pulso parásito y el respectivo pulso de radar (RP) presentan formas de onda ortogonales, **caracterizado porque**
- 15 a) los datos brutos SAR (RD) se focalizan por medio de una primera focalización (FC1) en los pulsos parásitos asociados a los respectivos pulsos de radar (RP), por lo que se obtienen primeros datos focalizados (DA1), donde en el marco de la primera focalización (FC1) se llevan a cabo una compresión de rango (RC1) y una compresión acimutal (AC1) y a este respecto para la compresión de rango (RC1) de un respectivo pulso de radar (RP) se aplica un filtrado (F11), que está adaptado a la forma de onda del pulso parásito asociado,
- 20 b) los primeros datos focalizados (DA1) se someten a una supresión de señal (SU), que suprime al menos parcialmente el eco de radar parásito asociado para cada pulso de radar (RP), por lo que se obtienen segundos datos focalizados (DA2);
- 25 c) los segundos datos focalizados (DA2) se someten a una desfocalización (DF), por lo que se obtienen datos brutos SAR modificados (RD'), donde en el marco de la desfocalización (DF) se llevan a cabo una descompresión de rango (RDE) y una descompresión acimutal (ADE), que son inversas respecto a la compresión de rango (RC1) y la compresión acimutal (AC1) de la primera focalización (FC1).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** los datos brutos modificados (RD') se focalizan por medio de una segunda focalización (FC2) en los respectivos pulsos de radar (RP), por lo que se obtienen terceros datos focalizados (DA3), donde en el marco de la segunda focalización (FC2) se llevan a cabo una compresión de rango (RC2) y una compresión acimutal (AC2) y a este respecto para la compresión de rango (RC2) de un respectivo pulso de radar (RP) se aplica un filtrado (F13), que está adaptado a la forma de onda del respectivo pulso de radar (RP).
- 35 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** el eco de radar parásito del pulso parásito es un eco de nadir, cuya primera posición de rango se corresponde con la distancia más corta entre la superficie terrestre (GR) y la dirección acimutal (x).
- 40 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los pulsos de radar (RP) son formas de onda moduladas en frecuencia y preferentemente moduladas en frecuencia linealmente.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** todos los pulsos de radar (RP) presentan la misma duración de pulso (T) y la forma de onda de un pulso de radar emitido (RP) se corresponde con la forma de onda del pulso de radar (RP) anteriormente emitido, desplazada cíclicamente dentro de la duración de pulso (PD).
- 45 6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los pulsos de radar (RP) se emiten en secuencias repetitivas de pulsos de radar sucesivos (RP), donde las formas de onda  $s_i(t)$  de los pulsos de radar (RP) dentro de una secuencia rezan como sigue:
- 50

$$s_i(t) = \begin{cases} e^{j\pi \frac{B}{T} \left( t-t_i - T \left( \frac{t+\frac{T}{2}-t_i}{T} \right) \right)^2}, & -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2} \\ 0, & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

donde  $i$  indica los pulsos de radar sucesivos (RP) de la secuencia y es válido  $i = 0, \dots, 2BT-1$ , donde B representa la anchura de banda del pulso de radar (RP) y T representa la duración de pulso (T);

donde es válido

$$t_i = \frac{i(i+1)}{2B} - T \left\lfloor \frac{i(i+1) + BT}{2BT} \right\rfloor$$

- 5 7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la supresión de señal (SU) está configurada de manera que para un respectivo pulso de radar (RP) se determina la segunda posición de rango y la señal en los primeros datos focalizados (DA1) se suprime al menos parcialmente esencialmente solo en la segunda posición de rango.
- 10 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la supresión de señal (SU) está configurada de manera que un valor umbral se aplica en las señales en todos los primeros datos focalizados (DA1), de modo que todas las señales por encima del valor umbral se truncan al valor umbral o de modo que las señales solo se ponen a cero en las posiciones que sobrepasan el valor umbral.
- 15 9. Dispositivo para el procesamiento asistido por ordenador de datos brutos SAR (RD), que comprenden ecos de radar de pulsos de radar (RD), que se han emitido por un dispositivo de radar (1) en al menos un objeto volador, que se mueve en una dirección acimutal (x) sobre la superficie terrestre (GR), donde los ecos de radar de los pulsos de radar (RP) se han recibido y detectado por el dispositivo de radar (1) y donde los datos brutos SAR (RD) para cada pulso de radar (RP) contienen muestras de datos para varias posiciones de rango, donde las posiciones de rango representan diferentes distancias (R) entre la superficie terrestre (GR) y la dirección acimutal (x), donde a un respectivo pulso de radar (RP) está asociado un eco de radar parásito y un pulso parásito, donde el eco de radar parásito es un eco de radar del pulso parásito para una primera posición de rango y el eco de radar parásito se recibe simultáneamente con un eco de radar del respectivo pulso de radar (RP) para una segunda posición de rango por el dispositivo de radar (1), donde el pulso parásito es otro pulso de radar (RP) como el respectivo pulso de radar (RP) y donde el pulso parásito y el respectivo pulso de radar (RP) presentan formas de onda ortogonales, donde el dispositivo está establecido para llevar a cabo un procedimiento, **caracterizado porque**
- 20 a) los datos brutos SAR (RD) se focalizan por medio de una primera focalización (FC1) en los pulsos parásitos asociados a los respectivos pulsos de radar (RP), por lo que se obtienen primeros datos focalizados (DA1), donde en el marco de la primera focalización (FC1) se llevan a cabo una compresión de rango (RC1) y una compresión acimutal (AC1) y a este respecto para la compresión de rango (RC1) de un respectivo pulso de radar (RP) se aplica un filtrado (F11), que está adaptado a la forma de onda del pulso parásito asociado,
- 30 b) los primeros datos focalizados (DA1) se someten a una supresión de señal (SU), que suprime al menos parcialmente el eco de radar parásito asociado para cada pulso de radar (RP), por lo que se obtienen segundos datos focalizados (DA2);
- 35 c) los segundos datos focalizados (DA2) se someten a una desfocalización (DF), por lo que se obtienen datos brutos SAR modificados (RD'), donde en el marco de la desfocalización (DF) se llevan a cabo una descompresión de rango (RDE) y una descompresión acimutal (ADE), que son inversas respecto a la compresión de rango (RC1) y la compresión acimutal (AC1) de la primera focalización (FC1).
- 40 10. Dispositivo según la reivindicación 9, que está configurado de manera que con el dispositivo se puede llevar a cabo un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 8.
11. Producto de programa informático con un código de programa almacenado en un soporte legible a máquina para llevar a cabo un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 cuando el código de programa se ejecuta en un ordenador.
- 45 12. Programa informático con un código de programa para llevar a cabo un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 cuando el código de programa se ejecuta en un ordenador.

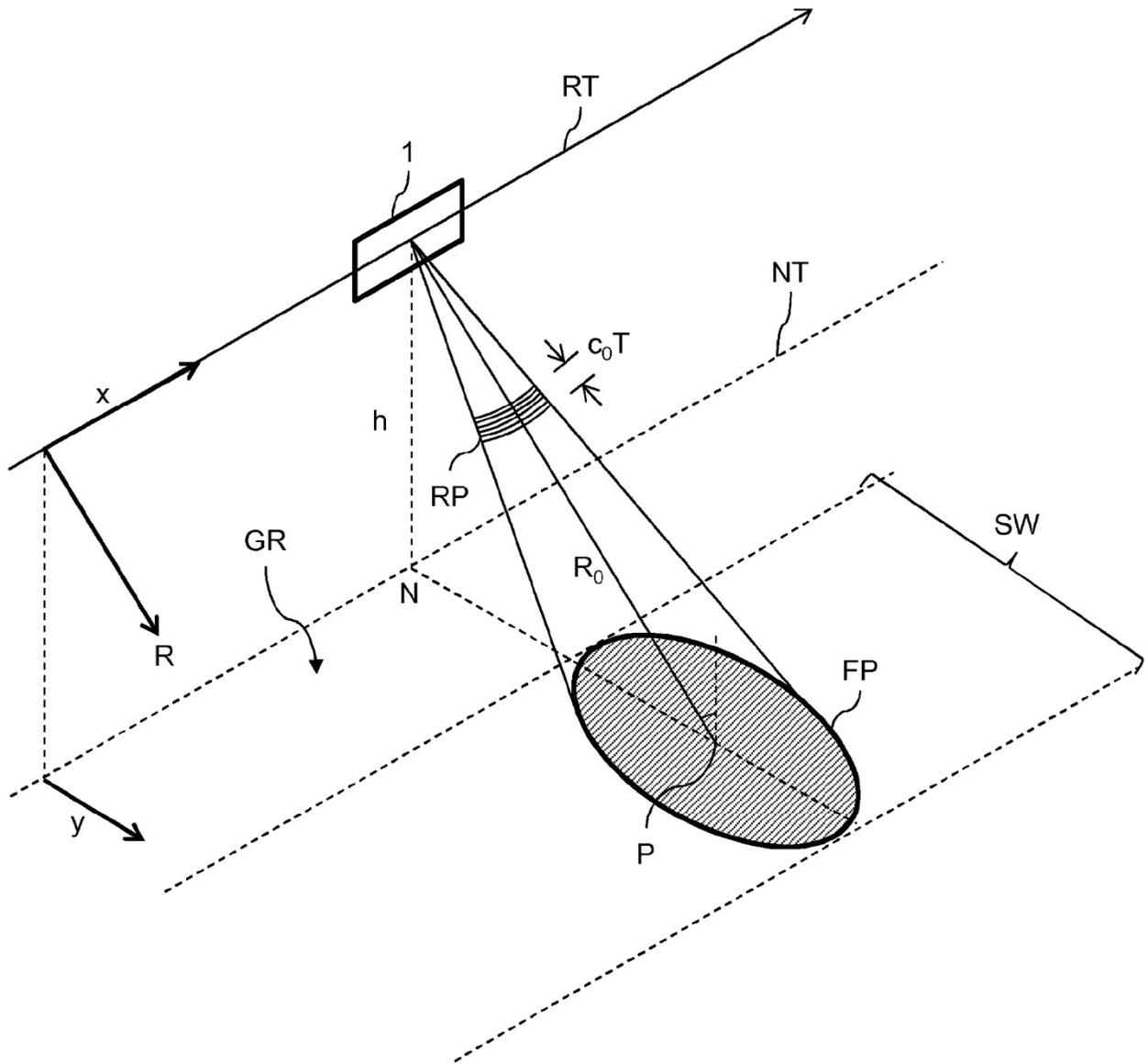


Fig. 1

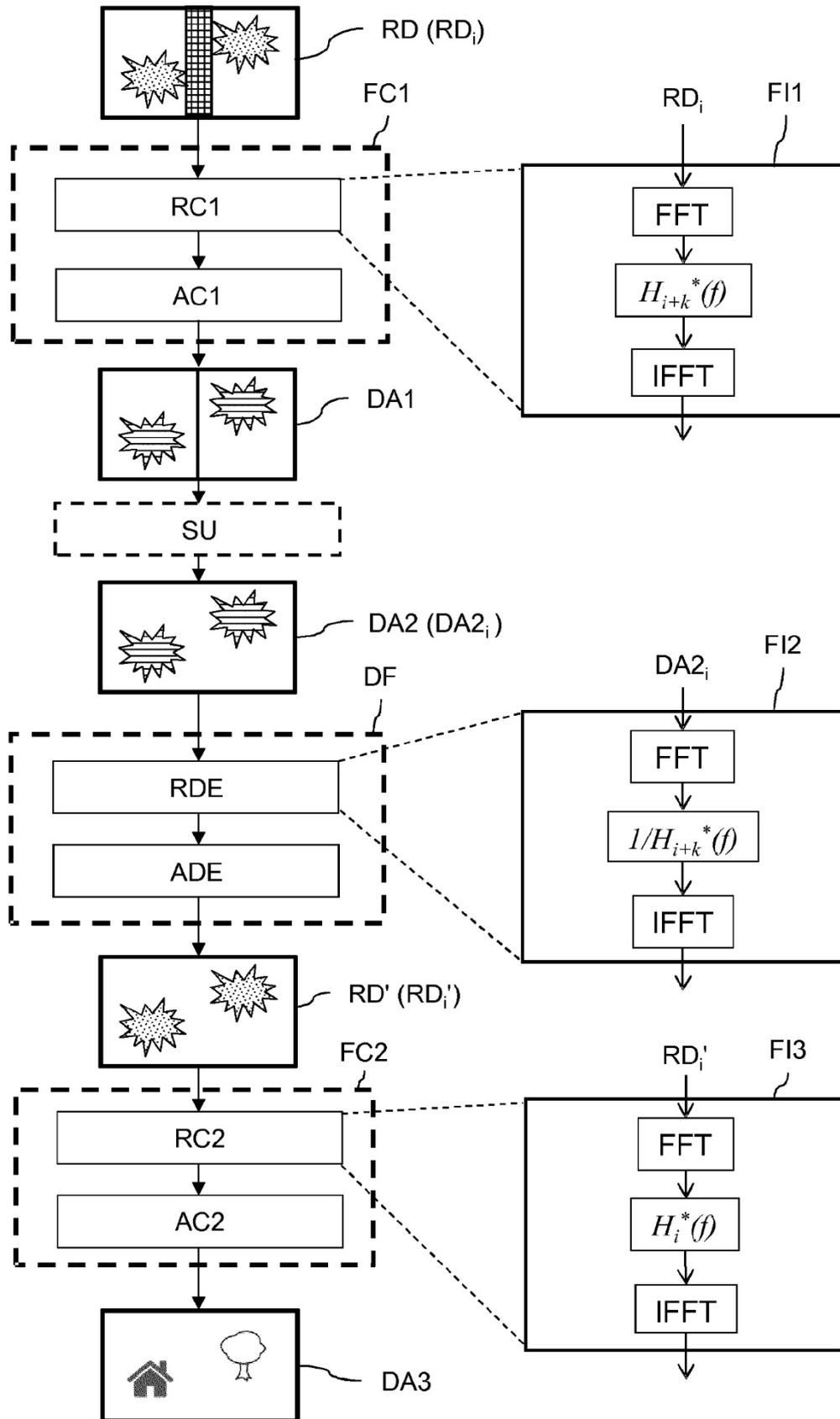


Fig. 2

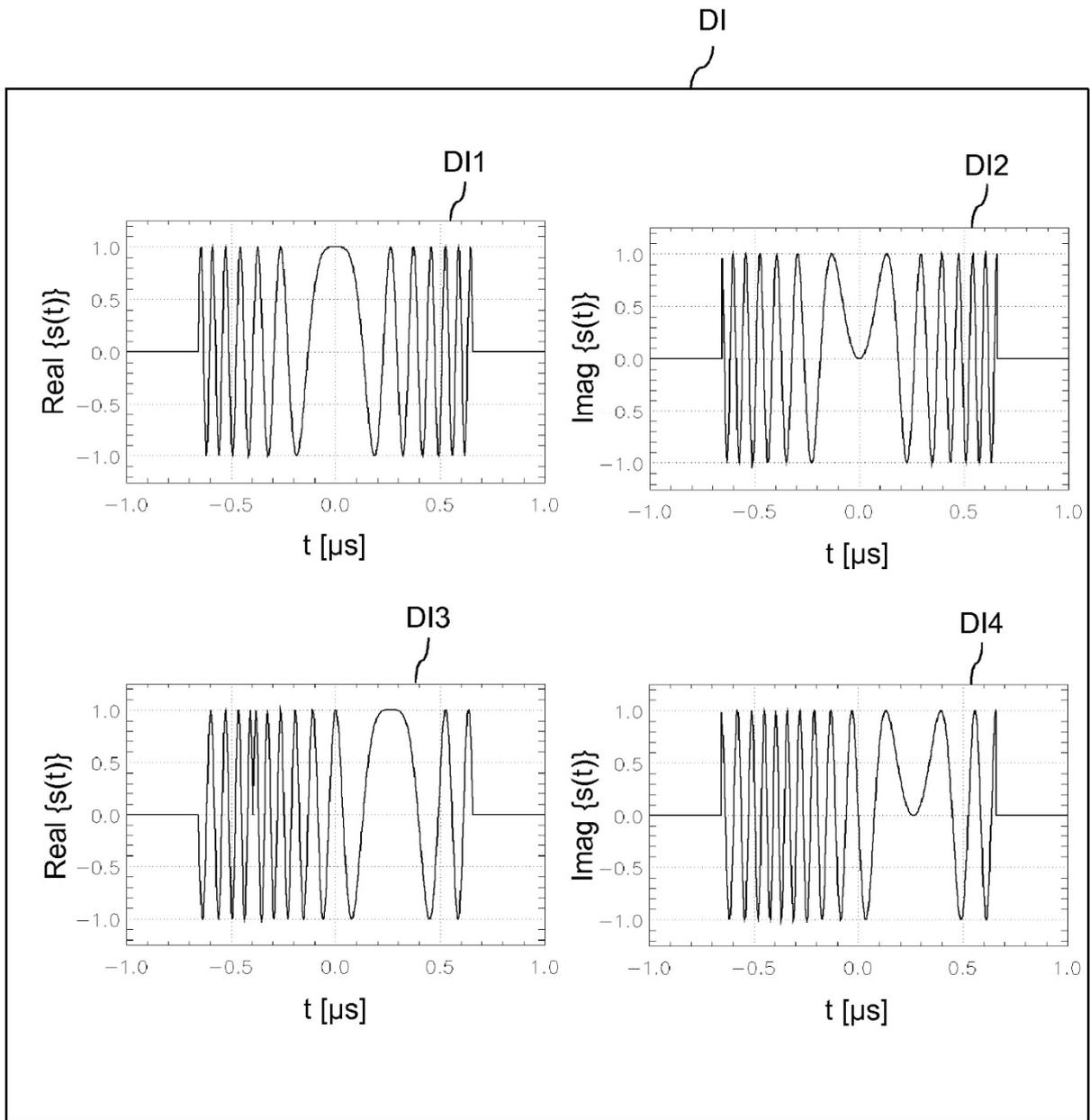


Fig. 3