

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 704 174**

51 Int. Cl.:

G01S 13/28 (2006.01)

G01S 13/90 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.10.2014 PCT/EP2014/072297**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.04.2015 WO15059043**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.10.2014 E 14795969 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2018 EP 3060939**

54 Título: **Procedimiento de radar de apertura sintética**

30 Prioridad:

25.10.2013 DE 102013221756

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

14.03.2019

73 Titular/es:

**DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND
RAUMFAHRT E.V. (100.0%)
Linder Höhe
51147 Köln, DE**

72 Inventor/es:

**YOUNIS, MARWAN;
BORDONI, FEDERICA;
KRIEGER, GERHARD;
LOPEZ-DEKKER, FRANCISCO y
DE ZAN, FRANCESCO**

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 704 174 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de radar de apertura sintética

- 5 **[0001]** La invención se refiere a un procedimiento de radar de apertura sintética para la teledetección de la superficie terrestre, así como un sistema de radar de apertura sintética correspondiente.
- 10 **[0002]** Los procedimientos de radar de apertura sintética, que también se designan como procedimientos SAR, posibilitan la teledetección de la superficie terrestre a través de 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 de azimut. A este respecto, de la superficie terrestre se detectan franjas con una anchura en la así denominada dirección de rango, que se extiende perpendicularmente a la dirección de azimut. El término de superficie terrestre se debe entender en este caso de forma amplia y también se puede referir eventualmente a la superficie de un planeta diferente de la tierra.
- 15 **[0003]** En el procedimiento de radar SAR se aprovecha el conocimiento de que debido al sistema de radar móvil se detectan las mismas zonas de la tierra o de un planeta desde diferentes posiciones de sensor, por lo que se puede obtener una información de amplitud y fase y finalmente una imagen de radar de la superficie terrestre. Por consiguiente, se genera una apertura sintética en la dirección de azimut.
- 20 **[0004]** Para sistemas SAR se conoce el así denominado modo de funcionamiento de subpulsos, en el que en intervalos de repetición de pulsos sucesivos no se emite un único pulso de radar, sino varios subpulsos. A este respecto, los subpulsos se pueden enviar de forma simultánea, superpuesta o a cortos lapsos de tiempo. Cada uno de estos subpulsos puede detectar una franja de tierra diferente (así denominado modo de franjas en anchura).
- 25 Asimismo, varios subpulsos pueden iluminar una franja de tierra común (así denominado modo interferométrico). Además, los subpulsos también pueden presentar eventualmente polarizaciones diferentes y en general ortogonales de las ondas electromagnéticas (así denominado modo polarimétrico).
- 30 **[0005]** Los ecos de radar de los subpulsos detectados por el sistema SAR inciden de forma simultánea o superpuesta temporalmente, no obstante, desde distintas direcciones en un receptor correspondiente. Para la superación de los subpulsos por el estado de la técnica se conoce usar la conformación de haz digital. A este respecto, los diagramas direccionales de antena o lóbulos receptores se generan de manera que cada diagrama direccional de antena está dirigido a uno de los subpulsos. Sin embargo, los subpulsos separados a través de conformación de haz digital contienen siempre interferencias o perturbaciones de otros subpulsos.
- 35 **[0006]** El documento de Gerhard Krieger et al.: "Multidimensional Waveform Encoding: A New and Digital Beamforming Technique for Synthetic Aperture Radar Remote Sensing", IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, vol. 46, nº 1, 1 de enero 2008, páginas 31-46 describe un procedimiento de radar de apertura sintética, en el que se emiten subpulsos con diferentes ángulos de azimut y se usa la conformación de haz digital para la recepción de los ecos de radar.
- 40 **[0007]** En el documento US 5 808 580 A se da a conocer un sistema de radar en el que se emiten los subpulsos con diferentes frecuencias.
- 45 **[0008]** El documento de Wei Xu et al.: "MIMO-TOPS Mode for High-Resolution Ultra-Wide-Swath Full Polarimetric Imaging", Progress in Electromagnetics Research, vol. 121, 1 de enero de 2001, páginas 19-37, da a conocer un procedimiento de radar de apertura sintética, en el que los subpulsos se emiten como formas de onda ortogonales con códigos de fase especiales y se usa la conformación de haz digital para la recepción de los subpulsos.
- 50 **[0009]** En el documento de Bo Zou et al.: "Design and performance análisis of orthogonal coding signal in MIMO-SAR", Science China Information Sciences, vol. 54, nº 8, 3 de junio de 2011, páginas 1723-1737, se da a conocer un procedimiento de radar de apertura sintética, en el que se emiten los subpulsos que son señales ortogonales codificadas por fase.
- 55 **[0010]** El objetivo de la invención es crear un procedimiento de radar de apertura sintética en base a un modo de subpulsos, con el que se puede disminuir la interferencia de los subpulsos recibidos.
- 60 **[0011]** Este objetivo se consigue mediante el procedimiento según la reivindicación 1 o el dispositivo según la reivindicación 12. Perfeccionamientos de la invención están definidos en las reivindicaciones dependientes.
- 65 **[0012]** El procedimiento de radar de apertura sintética según la invención usa un dispositivo de radar que se mueve en una dirección de azimut sobre la superficie terrestre, en donde el dispositivo de radar comprende un dispositivo emisor para la emisión de los pulsos de radar y un dispositivo receptor para la recepción de los ecos de radar de los pulsos de radar en una dirección de rango perpendicular a la dirección de azimut. En intervalos de repetición de pulsos sucesivos se emiten los pulsos de radar por el dispositivo emisor y se reciben los ecos de radar

por el dispositivo de recepción. En general el dispositivo de radar se sitúa en un satélite.

[0013] El procedimiento de radar de apertura sintética según la invención usa un modo de subpulsos. A este respecto, en un intervalo de tiempo de emisión continuo de un intervalo de repetición de pulsos correspondiente se emiten varios pulsos de radar en la forma de subpulsos hacia la superficie terrestre y en un intervalo de tiempo de recepción continuo subsiguiente a él del intervalo de repetición de pulsos correspondiente se reciben los subpulsos como ecos de radar. Los subpulsos en un intervalo de repetición de pulsos se diferencian a través de caracterizaciones, en donde los mismos subpulsos en distintos intervalos de repetición de pulsos presentan la misma caracterización. En otras palabras, los intervalos de repetición de pulsos están contruidos de forma idéntica, de modo que en cada intervalo de repetición de pulsos se emiten los mismos subpulsos y se reciben sus ecos de radar. En una forma de realización preferida se provoca la caracterización de los subpulsos mediante una numeración de los mismos. Si los subpulsos se emiten en diferentes instantes, esta numeración se puede corresponder con la secuencia temporal de la emisión de los subpulsos. Sin embargo, la caracterización o numeración se puede seleccionar diferentemente a voluntad. Sólo se debe garantizar que los mismos subpulsos en los diferentes intervalos de repetición de pulsos siempre reciban la misma caracterización.

[0014] El procedimiento según la invención se destaca por una codificación y descodificación apropiadas de los subpulsos. A este respecto, un subpulso correspondiente se codifica antes de la emisión a través del dispositivo emisor, en tanto que se provee de una fase de codificación. De forma analógica se descodifica un subpulso codificado recibido correspondiente (es decir, el eco de radar del subpulso codificado correspondiente), en tanto que el subpulso se provee de una fase de descodificación. A este respecto permanece constante la adición de la fase de codificación y fase de descodificación para subpulsos correspondientes en un intervalo de repetición de pulsos correspondientes y más allá de los intervalos de repetición de pulsos. De esta manera se garantiza que los subpulsos receptores permanecen de forma comparable entre sí. Además, para cada par de un subpulso con una caracterización y un subpulso con otra caracterización varía la adición de la fase de descodificación para el subpulso (codificado recibido) con la caracterización y la fase de codificación para el pulso (emitido) con la otra caracterización de un intervalo de repetición de pulsos al siguiente. Mediante esta variación de la adición y por consiguiente de la fase restante entre la fase de descodificación y fase de codificación para subpulsos diferentes se puede suprimir de forma eficiente la perturbación de un subpulso por otros subpulsos. Bajo la adición de fases se debe entender aquí y a continuación una adición de módulo 360° o 2π . Asimismo las fases y por consiguiente la fase de codificación y fase de descodificación se deben entender como valores de módulo 360° o 2π .

[0015] Además, en el procedimiento según la invención se consigue una supresión especialmente buena de la interferencia, porque la adición de la fase de descodificación para el subpulso con la caracterización y la fase de descodificación para el subpulso con la otra caracterización se modifica en el mismo valor, preferentemente en dirección opuesta, de un intervalo de repetición de pulsos al siguiente. La supresión de la interferencia es especialmente buena a este respecto, cuando la modificación de la diferencia es 180° , dado que se desencadenan pulsos de interferencia sucesivos.

[0016] En una forma de realización especialmente preferida, la fase de codificación ϕ_{en} y fase de descodificación ϕ_{de} se seleccionan como sigue:

$$\phi_{en}(n, i) = -\frac{180^\circ}{M}(i - n + j)^2 \pmod{360^\circ} \text{ con } n = 1, \dots, P \text{ y } j = 0 \text{ o } j = 1,$$

$$\phi_{de}(n, i) = +\frac{180^\circ}{M}(i - n + j - S)^2 \pmod{360^\circ},$$

en donde P es el número total de los subpulsos en un intervalo de repetición de pulsos;
en donde los subpulsos están caracterizados a través de una numeración en el intervalo de repetición de pulsos y n es el número del subpulso;

en donde i es un contador consecutivo para los intervalos de repetición de pulsos sucesivos;
en donde M es un número entero con $M \geq P$;
en donde $S \in \mathbb{Z}$ está seleccionado de manera que la adición de la fase de codificación y fase de descodificación para subpulsos correspondientes permanece constante en el intervalo de repetición de pulsos y más allá de los intervalos de repetición de pulsos, en donde es válido preferentemente $0 \leq S \leq M - P$.

[0017] El parámetro anterior S tiene en cuenta tanto el retardo bidireccional de los subpulsos enviados como también un grado de libertad adicional en la descodificación.

[0018] Con el procedimiento según la invención se consigue una supresión de la interferencia eventualmente también sin separación de los subpulsos a través de la conformación de haz digital. Sin embargo, en una forma de realización especialmente preferida se reciben los subpulsos codificados correspondientes mediante conformación de haz digital mediante lóbulos receptores diferentes y se descodifican a continuación.

[0019] La generación de los subpulsos y de las fases de codificación y fases de descodificación

correspondientes se puede realizar de forma analógica o digital según la configuración del procedimiento según la invención. Preferentemente la codificación y/o descodificación de los subpulsos se lleva a cabo de forma digital. En una variante preferida las fases de codificación y/o fases de descodificación están almacenadas digitalmente en una tabla de búsqueda, a la que se accede en el marco de la codificación y/o descodificación. De este modo se consigue una codificación o descodificación especialmente rápida, dado que las fases de codificación o fases de descodificación necesarias no siempre se deben calcular. La codificación o descodificación según la invención se implementa p. ej. a través de una multiplicación compleja del subpulso correspondiente, es decir, la señal compleja del subpulso se multiplica por la función exponencial compleja, que como argumento contiene la fase de codificación o fase de descodificación.

10

[0020] Según la configuración del modo de subpulsos, los subpulsos en un intervalo de repetición de pulsos correspondiente se pueden emitir al menos parcialmente simultáneamente y/o al menos parcialmente en diferentes instantes. Asimismo, los subpulsos pueden presentar al menos parcialmente diferentes polarizaciones. De este modo se pueden realizar distintos modos de funcionamiento conocidos en sí.

15

[0021] En una variante los subpulsos en un intervalo de repetición de pulsos correspondiente detectan franjas disyuntas sobre la superficie terrestre con expansión de anchura en la dirección de rango. De este modo se realiza un modo de franja en anchura, con el que se detecta una zona especialmente grande sobre la superficie terrestre. Asimismo, los subpulsos en un intervalo de repetición de pulsos correspondientes pueden detectar las mismas franjas o franjas superpuestas en la dirección de rango sobre la superficie terrestre con una expansión de anchura en la dirección de rango. Esta variante se usa en particular para SAR interferométrico, en el que las imágenes SAR superpuestas interferométricamente de la misma zona sobre la superficie terrestre se generan mediante los subpulsos recibidos. De ello se pueden obtener informaciones de altura de la zona detectada sobre la superficie terrestre.

20

[0022] La codificación según la invención de los subpulsos se realiza en el dispositivo de radar que emite y recibe los subpulsos. La descodificación de los subpulsos recibidos también se puede llevar a cabo eventualmente en este dispositivo de radar. No obstante, preferentemente la descodificación de los subpulsos se realiza en una estación de tierra sobre la superficie terrestre. A este respecto, los subpulsos recibidos, eventualmente tras llevar a cabo la conformación de haz digital, se le transmiten a la estación de tierra. Opcionalmente la conformación de haz digital (si está presente) se puede llevar a cabo en la estación de suelo.

30

[0023] Junto al procedimiento arriba descrito, la invención se refiere además a un sistema de radar de apertura sintética con un dispositivo de radar que durante el funcionamiento se mueve en una dirección de azimut sobre la superficie terrestre. A este respecto, el sistema de radar de apertura sintética está configurado de manera que el procedimiento según la invención o una o varias variantes preferidas del procedimiento según la invención se pueden llevar a cabo con el sistema de radar de apertura sintética.

35

[0024] Ejemplos de realización de la invención se describen en detalle a continuación mediante las figuras adjuntas.

40

Muestran:

[0025]

45 Fig. 1 un diagrama de tiempo que clarifica el modo de subpulsos que se usa en una forma de realización del procedimiento según la invención;

Fig. 2 y fig. 3 vistas de un dispositivo de radar que se usa en una forma de realización del procedimiento según la invención para la emisión y recepción de subpulsos;

50

Fig. 4 una vista del dispositivo de radar de la fig. 2 y fig. 3, en donde se reproducen la emisión de los subpulsos, así como su recepción a través de la conformación de haz digital;

Fig. 5 una forma de realización de un sistema emisor en el que se codifican los subpulsos según el procedimiento según la invención;

55

Fig. 6 una forma de realización de un sistema receptor en el que se descodifican los subpulsos según el procedimiento según la invención; y

60 Fig. 7 a fig. 9 diagramas que ilustran la supresión de interferencias de subpulsos con el procedimiento según la invención.

[0026] La forma de realización aquí descrita del procedimiento según la invención se basa en el modo de subpulsos conocido en sí, no obstante, en donde los subpulsos individuales están codificados por fase de forma apropiada. Para la clarificación, el modo de subpulsos que se usa en el ejemplo de realización aquí descrito, se

65

reproduce en la fig. 1. En esta figura se muestra la emisión de los subpulsos a lo largo del eje de tiempo t. Los subpulsos se emiten en intervalos de repetición de pulsos PRI sucesivos, en donde el intervalo de repetición de pulsos es el inverso de la frecuencia de repetición de pulsos PRF correspondiente. En cada intervalo de repetición de pulsos no se emite un pulso de radar individual, sino varios subpulsos. De este modo se establece un intervalo de tiempo de emisión SI, en el que se realiza la emisión de los subpulsos. En el ejemplo de la fig. 1 se emiten dos subpulsos SP1 y SP2 temporalmente de forma sucesiva. El lapso entre los instantes de emisión de los dos subpulsos está designado a este respecto con Za. Por el contrario, la longitud de un subpulso está designada con dc. Según el dispositivo de radar usado se pueden emitir los subpulsos mediante el mismo emisor o el mismo sistema de antenas emisoras o eventualmente diferentes emisores o diferentes sistemas de antenas emisoras. Con el intervalo de tiempo de emisión continuo SI dentro del intervalo de repetición de pulsos PRI se conecta un intervalo de tiempo de recepción RI, dentro del que se reciben entonces los ecos de radar correspondientes de los subpulsos reflejados sobre la superficie terrestre. Estos ecos de radar están clarificados por un perfil rayado. Tras el final del intervalo de tiempo de recepción comienza un nuevo intervalo de repetición de pulsos, que de nuevo se compone de un intervalo de tiempo de emisión SI y un intervalo de tiempo de recepción RI.

15 **[0027]** La fig. 2 y la fig. 3 muestran vistas de un dispositivo de radar situado sobre un satélite, que se hace funcionar en base al modo de subpulsos mostrado en la fig. 1 y en el que se usa una forma de realización del procedimiento según la invención. La fig. 2 muestra en vista en planta la configuración de antenas del dispositivo de radar 1. El dispositivo de radar es parte de un sistema SAR, con el que a través de los ecos de los pulsos de radar emitidos se detecta la superficie terrestre y a partir de ello se generan las imágenes SAR. Según la vista de la fig. 2, el dispositivo de radar se mueve en la así denominada dirección de azimut x. La extensión en altura o elevación del radar está indicada a este respecto mediante la coordenada z. El radar comprende dos antenas emisoras 2 y 3, que están decaladas entre sí tanto en la dirección de azimut como también en elevación. La antena emisora 2 es una antena reflectora con el reflector 201 y emisores 202 correspondientes. La antena 3 presenta la misma estructura que la antena 2 y comprende un reflector 301 así como emisores 302. En una variante especial la expansión de los reflectores 201 o 301 se sitúa en 3 m en azimut y 0,6 m en elevación. Con las antenas emisoras 2 y 3 se emiten en alternancia los subpulsos SP1 y SP2 de la fig. 1. En otras palabras, la antena emisora 2 emite el subpulso SP1, mientras que la antena emisora 3 emite el subpulso SP2.

30 **[0028]** Para la recepción de los subpulsos reflejados en la superficie terrestre se usa un dispositivo receptor 4 individual en forma de una grana antena reflectora, que comprende el reflector 401 así como un sistema de alimentación 402 a partir de una pluralidad de receptores. A través de este sistema de alimentación se puede llevar a cabo la conformación de haz digital para los subpulsos recibidos, según se explica más en detalle más abajo. El sistema de alimentación digital comprende en una variante especial 27 receptores individuales. La expansión del reflector de la antena 4 se sitúa en una configuración especial en 3 m en azimut y 2 m en elevación. El sistema de alimentación 402 se hace funcionar en el así denominado modo SCORE (SCORE = Scan-On-Receive). En este modo se siguen los ecos de radar a través de lóbulos receptores estrechos (así denominados haces SCORE). El modo SCORE se conoce en sí por el estado de la técnica y por ello no se explica más en detalle. En la forma de realización aquí descrita, el eco de radar para cada uno de los pulsos se sigue por un haz SCORE separado, lo que se consigue a través de la conformación de haz digital. Para la clarificación en la fig. 3 también se reproduce de nuevo la vista lateral del dispositivo de radar vista de la fig. 2 en la dirección opuesta a la dirección de azimut. A este respecto se ve en particular la disposición del sistema de alimentación 402 en referencia al reflector 401.

45 **[0029]** La fig. 4 clarifica el funcionamiento del dispositivo de radar de la fig. 2 y fig. 3. Con las dos antenas emisoras 2 y 3 se ilumina la misma franja SW (inglés: swath) sobre la superficie terrestre. Por tanto, la disposición es apropiada en particular para la generación de imágenes SAR superpuestas interferométricamente, por lo que se pueden obtener las informaciones de altura sobre la superficie terrestre. El rango de ángulo, en el que emiten las dos antenas 2 y 3, está designado con B. La franja SW se extiende en la así denominada dirección de rango y, que es la dirección perpendicular a la dirección de azimut x. Según se menciona, cada una de las antenas 2 y 3 emite los subpulsos SP1 o SP2 correspondientes. Mediante la antena receptora 4 a través de la conformación de haz digital se recibe el eco E1 del subpulso SP1 a través del haz SCORE B1, mientras que a través del haz SCORE B2 se recibe el eco E2 del subpulso SP2. Los haces SCORE individuales siguen a este respecto los ecos correspondientes dentro de la franja SW.

55 **[0030]** En base a la conformación de haz digital a través de los dos lóbulos receptores B1 y B2 se pueden separar los ecos de los distintos subpulsos. En este caso se aprovecha el hecho de que en cada instante llegan los dos ecos desde ángulos ligeramente diferentes, que se representan por los lóbulos de recepción B1 y B2. Sin embargo, las señales separadas a través de la conformación de haz digital contienen además una perturbación, es decir, siempre hay todavía una interferencia del un eco de pulso con el otro. Para suprimir esta interferencia se usa la codificación de fase y descodificación de fase según la invención de los subpulsos, que se explica más en detalle a continuación mediante un ejemplo.

65 **[0031]** La fig. 5 muestra en representación esquemática la codificación de fase según la invención de los subpulsos, que se emiten con las antenas emisoras 2 y 3 mostradas en la fig. 2. Las antenas emisoras 2 y 3 están indicadas en la fig. 5 por bloques, por los que se reproducen además dos elementos de antena para la clarificación.

ES 2 704 174 T3

Los subpulsos son habitualmente chirps, es decir, señales moduladas en frecuencia. La codificación de fase COD se realiza de forma digital con ayuda de una tabla de búsqueda LT, a partir de la que se leen las fases de codificación ϕ_{en} para los subpulsos individuales. Los subpulsos codificados en fase de este modo se convierten en señales analógicas en convertidores digital – analógico DAC, en donde el subpulso SP1 se emite a través del emisor 2 y el subpulso SP2 a través del emisor 3. En la forma de realización aquí descrita la fase de codificación es como sigue:

$$\phi_{en}(n, i) = -\frac{180^\circ}{M}(i - n)^2 \pmod{360^\circ} \text{ con } n = 1, \dots, P$$

en donde P es el número total de los subpulsos en un intervalo de repetición de pulsos;

10 en donde n es el número del subpulso en el intervalo de repetición de pulsos;

en donde i es un contador consecutivo para los intervalos de repetición de pulsos sucesivos;

en donde M es un número entero con $M \geq P$.

[0032] La fórmula anterior está indicada en general y en el ejemplo de realización aquí descrito con los dos subpulsos SP1 y SP2 está seleccionado $P = 2$. A este respecto $n = 1$ se corresponde con el subpulso SP1 y $n = 2$ con el subpulso SP2. Para el parámetro M se ha usado el valor 2.

[0033] La fig. 6 muestra en representación esquemática la realización de la descodificación de fase para los subpulsos, que se reciben a través de la antena reflectora 4 de la fig. 2. A este respecto, los elementos receptores individuales del sistema de alimentación 402 están indicados con las referencias 403, en donde para la clarificación además están representadas las antenas correspondientes para los receptores individuales. Las señales recibidas a través de los receptores 403 se digitalizan en primer lugar a través del convertidor analógico – digital ADC. A continuación se lleva a cabo la conformación de haz digital DBF descrita ya arriba, por lo que los subpulsos se separan conforme a los lóbulos de recepción B1 y B2 mostrados en la fig. 4. Estos subpulsos separados se depositan luego en una memoria ST en el dispositivo de radar. Habitualmente los datos almacenados en la memoria ST se transmiten luego hacia la superficie terrestre y se procesan allí. Eventualmente las señales individuales de los receptores 403 después de la digitalización también se pueden depositar directamente en la memoria y a continuación transmitirse a la superficie terrestre, en donde la conformación de haz digital en este caso también se lleva a cabo primeramente sobre la superficie terrestre.

30

[0034] Las señales de la memoria ST se someten finalmente a una descodificación de fase DEC y a saber con fases $\phi_{de}(1,i)$ correspondientes para el subpulso SP1 y $\phi_{de}(2,i)$ para el subpulso SP2. Después de la descodificación de fase se realiza entonces de manera conocida en sí un procesado de imágenes PR, en donde en la forma de realización aquí descrita se superponen las imágenes de radar preferentemente de forma interferométrica.

35

[0035] En la forma de realización aquí descrita la fase de descodificación es como sigue:

$$\phi_{de}(n, i) = +\frac{180^\circ}{M}(i - n - S)^2 \pmod{360^\circ},$$

40 en donde $S \in \mathbb{Z}$, $0 \leq S \leq M - P$ y i, n definido como arriba para la fase de codificación.

[0036] Para el caso considerado de dos subpulsos es válido a este respecto $S = 0$.

[0037] Mediante la selección de la codificación o descodificación en base a las fórmulas anteriores se consigue que se disminuya o suprima la interferencia entre un subpulso y cualquier otro subpulso en el intervalo de repetición de pulsos. Esto se explica a continuación mediante la tabla siguiente.

Tabla:

Nº PRI		i = 1		i = 2		i = 3	
		n=1	n=2	n=1	n=2	n=1	n=2
Señal	Fase de codificación $\phi_{en}(n,i)$	0°	-90°	-90°	0°	0°	-90°
	Fase de descodificación $\phi_{de}(n,i)$	0°	+90°	+90°	0°	0°	+90°
	Fase restante	0°	0°	0°	0°	0°	0°

Perturbación / interferencia	Fase de codificación $\phi_{en}(n,i)$	-90°	0°	0°	-90°	-90°	0°
	Fase de decodificación $\phi_{de}(n,i)$	0°	+90°	+90°	0°	0°	+90°
	Fase restante	-90°	+90°	+90°	-90°	-90°	+90°

[0038] En la tabla anterior conforme al ejemplo de realización representado se han considerado los subpulsos SP1 y SP2, que están especificados con $n = 1$ para SP1 y $n = 2$ para SP2. i numera de nuevo los intervalos de repetición de pulsos. En la sección "señal" de la tabla se encuentran la fase de codificación y fase de decodificación para los subpulsos correspondientes conforme a las fórmulas anteriores para estas fases. Se reconoce que la fase restante entre estas fases (es decir, la adición de las fases) es de 0°. Por consiguiente, se considera que debido a la codificación y decodificación no se modifican los subpulsos. En general la fase de codificación y fase de decodificación siempre se debe seleccionar de modo que la fase restante de los subpulsos en los intervalos de repetición de pulsos correspondientes y más allá de los intervalos de repetición de pulsos permanece constante. En la sección perturbación / interferencia de la tabla se considera respectivamente la perturbación de un subpulso por el otro subpulso. Por tanto, como fase de codificación siempre se reproduce la fase de codificación del otro subpulso correspondiente. En otras palabras, para la perturbación / interferencia como fase de codificación para el subpulso $n = 1$ se indica la fase de codificación de la señal del subpulso $n = 2$ y a la inversa. La decodificación de la interferencia se realiza de nuevo con la fase de decodificación del subpulso correspondiente. Por tanto, para la perturbación o interferencia como fase de decodificación se indica la fase de decodificación de la señal en la misma columna.

[0039] Según se reconoce de la tabla, para la fase restante de la perturbación o interferencia de los mismos subpulsos de un intervalo de pulsos al siguiente se produce una modificación de fase de exactamente 180°. En otras palabras, en la tabla representada con el subpulso con $n = 1$ se modifica la fase restante de -90° a +90° en el siguiente intervalo de repetición de pulsos y luego de nuevo a -90° en el intervalo de repetición de pulsos sucesivo, etc. Correspondientemente la fase restante para el subpulso con $n = 2$ se modifica de +90° a -90° en el siguiente intervalo de repetición de pulsos y luego de nuevo a +90° en el intervalo de repetición de pulsos sucesivo, etc. Mediante estos saltos de fase de 180° se consigue la supresión de la interferencia entre los subpulsos, dado que los pulsos de interferencia sucesivos cambian el signo y por consiguiente se aniquilan. La medida de la supresión está relacionada con la similitud de las interferencias, que pueden ser diferentes según las circunstancias de la detección de radar. Una supresión especialmente buena de la interferencia se consigue con la variación anterior de la fase restante de 180°. Sin embargo, otras modificaciones de la fase restante también conducen a una supresión de interferencias. A este respecto, en el marco de la invención se debe garantizar que para un subpulso con número correspondiente varíe la fase restante de la perturbación o interferencia con cada subpulso con otro número de un intervalo de pulsos al siguiente.

[0040] El procedimiento descrito anteriormente no requiere un coste adicional mencionable en la implementación en un sistema de radar SAR. Técnicamente respecto al hardware en el lado de envío debe existir la posibilidad de proveer los subpulsos con una fase de codificación predeterminada, que se ajusta individualmente por subpulso. Los sistemas de radar actual y tienen esta posibilidad, dado que las señales de emisión y su fase se generan en general digitalmente a través de una tabla de búsqueda. Según se menciona arriba, la decodificación de fase se realiza en general en el suelo. Para ello se usa el software apropiado en el procesado de imágenes, y sólo se necesita una asociación de pulsos apropiada que ya está implementada en los sistemas actuales.

[0041] Según se deduce de las realizaciones anteriores, en base a la invención se crea un sistema SAR pulsado, que dentro de un intervalo de repetición de pulsos emite dos o varios subpulsos, de manera que éstos se proveen con una codificación de fase determinística dedicada. La codificación de fase se puede modificar de subpulso a subpulso. Además, la codificación de fase se puede modificar tras el transcurso de un intervalo de repetición de pulsos. No obstante, el valor de fase de la codificación permanece fijo durante el tiempo de un subpulso correspondiente. A este respecto es esencial para la invención que permanezca constante la fase restante entre la fase de codificación y fase de decodificación más allá de los subpulsos, mientras que aparece una variación de la fase restante de la señal parásita entre un subpulso y cualquier otro subpulso más allá de los intervalos de repetición de pulsos.

[0042] Para la codificación de fase se usa en el lado del envío un hardware que es capaz de ajustar la fase de cada subpulso. Esto se consigue a través de una tabla de búsqueda almacenada en la forma de realización arriba descrita. La codificación de fase se puede conseguir en el plano de software durante la generación digital de pulsos o eventualmente también mediante modulación analógica de los subpulsos.

[0043] En el lado de recepción se decodifican los datos recibidos conforme a un esquema apropiado. El esquema se aplica independientemente de si el procesamiento previo de las señales de recepción tiene lugar mediante

un procedimiento de la conformación de haz digital o analógica u otro procedimiento. El esquema de descodificación se desvía de la codificación de fase de los subpulsos. En general cada subpulso tiene un esquema de descodificación propio. La aplicación del esquema de descodificación se puede realizar mediante una multiplicación compleja de los datos de recepción con ponderaciones complejas. En este caso cada flujo de datos de recepción de un subpulso correspondiente se puede multiplicar con el esquema de descodificación de este subpulso, según es el caso en el ejemplo anterior. No obstante, asimismo el flujo de datos de la señal recibida se puede multiplicar respectivamente por el esquema de descodificación de cada subpulso.

10 **[0044]** La aplicación del esquema de descodificación conduce a la obtención de la potencia de recepción de un subpulso y a la supresión de la potencia de los otros subpulsos. Con el procedimiento según la invención se consigue por consiguiente una supresión de interferencias pura, es decir, la potencia se elimina y no se divide en zonas. La intensidad de la supresión depende de la selección de los parámetros, como p. ej. de la frecuencia de repetición de pulsos y de la anchura de banda Doppler procesada.

15 **[0045]** El procedimiento de la invención se puede aplicar independientemente de si los subpulsos iluminan la misma o diferentes franjas de suelo. No obstante, se produce un valor agregado elevado cuando los subpulsos iluminan la misma franja de suelo, ya que entonces no es posible de forma tan adecuada la supresión de interferencias mediante otros procedimientos, como p. ej. la conformación de haz digital.

20 **[0046]** La mejora conseguida con el procedimiento según la invención se puede comprobar para el sistema de radar arriba descrito de la fig. 2 para la codificación de fase de dos subpulsos SP1 y SP2. Esto se clarifica mediante las figuras 7 a 9. A este respecto, la fig. 7 muestra la relación entre interferencia y señal ISR de la perturbación contenida en el subpulso SP1 en función de la posición de rango y sin uso de la codificación de fase según la invención. Análogamente la fig. 8 muestra la relación entre interferencia y señal ISR para la perturbación en el subpulso SP2 en función de la posición de rango y sin codificación de fase según la invención. Los valores para ISR se vuelven mayores a este respecto para posiciones de rango más alejadas y alcanzan hasta -16 dB, lo que es un valor inaceptablemente elevado.

30 **[0047]** Con la codificación de fase y descodificación de fase según la invención se puede provocar una supresión de interferencias para las señales de la fig. 7 y fig. 8. Esta supresión de interferencias se muestra en la fig. 9. A este respecto, la supresión de interferencias IS se reproduce de nuevo en función de la posición de rango y. Según se reconoce, los valores de la supresión de interferencias se sitúan entre 5,5 dB en los bordes de la franja de suelo detectada correspondientemente y 5,85 en el centro de la franja de suelo. Esto se corresponde con un factor de 3,5 hasta 4 en la supresión de la potencia de interferencia. La relación entre interferencia y señal alcanzada con la supresión mostrada en la fig. 9 para las señales de perturbación individuales de las fig. 7 y 8 se produce por la sustracción de los valores dB de la fig. 9 de los valores correspondientes de la fig. 7 y fig. 8. Esto conduce a una supresión de interferencias de más de -20 dB sobre toda la franja, lo que es un valor aceptable para los sistemas de radar SAR.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de radar de apertura sintética para la teledetección de la superficie terrestres a través de un dispositivo de radar (1) que se mueve en una dirección de azimut (x) sobre la superficie terrestre, en donde el dispositivo de radar (1) comprende un dispositivo emisor (2, 3) para la emisión de pulsos de radar y un dispositivo receptor (4) para la recepción de los ecos de radar de los pulsos de radar en una dirección de rango (y) perpendicular a la dirección de azimut (x), en donde en intervalos de repetición de pulsos (PRI) sucesivos se emiten pulsos de radar mediante el dispositivo emisor (2, 3) y se reciben los ecos de radar mediante el dispositivo receptor (4), en donde en un intervalo de tiempo de emisión continuo (SI) de un intervalo de repetición de pulsos (PRI) correspondiente se emiten varios pulsos de radar en la forma de subpulsos (SP1, SP2) hacia la superficie terrestre y en un intervalo de tiempo de recepción continuo (RI) subsiguiente a él del intervalo de repetición de pulsos (PRI) se reciben los subpulsos (SP1, SP2) como ecos de radar, en donde los subpulsos (SP1, SP2) en un intervalo de repetición de pulsos (PRI) se diferencian a través de diferentes caracterizaciones y los subpulsos (SP1, SP2) iguales en distintos intervalos de repetición de pulsos (PRI) presentan la misma caracterización, en donde un subpulso (SP1, SP2) correspondiente se codifica antes de la emisión, en tanto que se provee de una fase de codificación (ϕ_{en}), y un subpulso (SP1, SP2) codificado recibido correspondiente se descodifica en tanto que se provee de una fase de descodificación (ϕ_{de}),

caracterizado porque

la adición de la fase de codificación (ϕ_{en}) y fase de descodificación (ϕ_{de}) permanece constante para subpulsos (SP1, SP2) correspondientes en el intervalo de repetición de pulsos (PRI) correspondiente y más allá de los intervalos de repetición de pulsos (PRI) y para cada par de un subpulso (SP1, SP2) con una caracterización y un subpulso (SP1, SP2) con otra caracterización varía la adición de la fase de descodificación (ϕ_{de}) para el subpulso (SP1, SP2) con la caracterización y la fase de codificación (ϕ_{en}) para el subpulso (SP1, SP2) con la otra caracterización de un intervalo de repetición de pulsos (PRI) al siguiente, en donde la adición de la fase de descodificación (ϕ_{de}) para el subpulso (SP1, SP2) con la caracterización y la fase de codificación (ϕ_{en}) para el subpulso (SP1, SP2) con la otra caracterización se modifica en el mismo valor de un intervalo de repetición de pulsos (PRI) al siguiente.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la adición de la fase de descodificación (ϕ_{de}) para el subpulso (SP1, SP2) con la caracterización y la fase de codificación (ϕ_{en}) para el subpulso (SP1, SP2) con la otra caracterización se modifica en el mismo valor en la dirección opuesta de un intervalo de repetición de pulsos (PRI) al siguiente.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** el valor es 180°.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la fase de codificación ϕ_{en} y fase de descodificación ϕ_{de} son como sigue:

$$\phi_{en}(n, i) = -\frac{180^\circ}{M}(i - n + j)^2 \pmod{360^\circ} \text{ con } n = 1, \dots, P \text{ y } j = 0 \text{ o } j = 1,$$

$$\phi_{de}(n, i) = +\frac{180^\circ}{M}(i - n + j - S)^2 \pmod{360^\circ},$$

en donde P es el número total de los subpulsos (SP1, SP2) en un intervalo de repetición de pulsos (PRI); en donde los subpulsos (SP1, SP2) están caracterizados a través de una numeración en el intervalo de repetición de pulsos (PRI) y n es el número del subpulso (SP1, SP2); en donde i es un contador consecutivo para los intervalos de repetición de pulsos (PRI) sucesivos; en donde M es un número entero con $M \geq P$; en donde $S \in \mathbb{Z}$ está seleccionado de manera que la adición de la fase de codificación (ϕ_{en}) y fase de descodificación (ϕ_{de}) para los subpulsos (SP1, SP2) correspondientes permanece constante en el intervalo de repetición de pulsos (PRI) y más allá de los intervalos de repetición de pulsos (PRI), en donde es válido preferentemente $0 \leq S \leq M - P$.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los subpulsos (SP1, SP2) codificados correspondientes se reciben mediante conformación de haz digital mediante diferentes lóbulos de recepción (B1, B2) y se descodifican a continuación.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la codificación (COD) y/o la descodificación (DEC) de los subpulsos (SP1, SP2) se realiza de forma digital, en donde las fase de codificación (ϕ_{en}) y/o las fases de descodificación (ϕ_{de}) están almacenadas de forma digital preferentemente en una tabla de búsqueda (LT), a la que se accede en el marco de la codificación (COD) y/o descodificación (DEC).

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los subpulsos (SP1, SP2) en un intervalo de repetición de pulsos (PRI) correspondiente se emiten al menos parcialmente simultáneamente y/o al menos parcialmente en diferentes instantes y/o presentan al menos parcialmente diferentes polarizaciones.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los subpulsos (SP1,

SP2) en un intervalo de repetición de pulsos (PRI) correspondiente detectan franjas disyuntas (SW) sobre la superficie terrestre con una expansión de anchura en la dirección de rango (y).

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los subpulsos (SP1, SP2) en un intervalo de repetición de pulsos (PRI) detectan las mismas franjas o franjas superpuestas en la dirección de rango (y) sobre la superficie terrestre con una expansión de anchura en la dirección de rango (y).

10. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado porque** las imágenes SAR superpuestas interferométricamente de la misma zona sobre la superficie terrestre se determinan mediante los subpulsos (SP1, SP2) recibidos.

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la descodificación (DEC) de los subpulsos (SP1, SP2) se realiza en una estación de tierra sobre la superficie terrestre.

12. Sistema de apertura sintética para la teledetección de la superficie terrestres con un dispositivo de radar (1), que durante el funcionamiento se mueve en una dirección de azimut (x) sobre la superficie terrestre, en donde el dispositivo de radar (1) comprende un dispositivo emisor (2, 3) para la emisión de pulsos de radar y un dispositivo receptor (4) para la recepción de los ecos de radar de los pulsos de radar en una dirección de rango (y) perpendicular a la dirección de azimut (x), en donde el sistema de radar de apertura sintética está configurado de manera que durante el funcionamiento se realiza un procedimiento en el que

en intervalos de repetición de pulsos (PRI) sucesivos se emiten pulsos de radar mediante el dispositivo emisor (2, 3) y se reciben los ecos de radar mediante el dispositivo receptor (4), en donde en un intervalo de tiempo de emisión continuo (SI) de un intervalo de repetición de pulsos (PRI) correspondiente se emiten varios pulsos de radar en la forma de subpulsos (SP1, SP2) hacia la superficie terrestre y en un intervalo de tiempo de recepción continuo (RI), subsiguiente a él del intervalo de repetición de pulsos (PRI) se reciben los subpulsos (SP1, SP2) como ecos de radar, en donde los subpulsos (SP1, SP2) en un intervalo de repetición de pulsos (PRI) se diferencian a través de diferentes caracterizaciones y los subpulsos (SP1, SP2) iguales en distintos intervalos de repetición de pulsos (PRI) presentan la misma caracterización,

en donde un subpulso (SP1, SP2) correspondiente se codifica antes de la emisión, en tanto que se provee de una fase de codificación (ϕ_{en}), y un subpulso (SP1, SP2) codificado recibido correspondiente se descodifica en tanto que se provee de una fase de descodificación (ϕ_{de}),

caracterizado porque

la adición de la fase de codificación (ϕ_{en}) y fase de descodificación (ϕ_{de}) permanece constante para subpulsos (SP1, SP2) correspondientes en el intervalo de repetición de pulsos (PRI) correspondiente y más allá de intervalos de repetición de pulsos (PRI) y para cada par de un subpulso (SP1, SP2) con una caracterización y un subpulso (SP1, SP2) con otra caracterización varía la adición de la fase de descodificación (ϕ_{de}) para el subpulso (SP1, SP2) con la caracterización y la fase de codificación (ϕ_{en}) para el subpulso (SP1, SP2) con la otra caracterización de un intervalo de repetición de pulsos (PRI) al siguiente, en donde la adición de la fase de descodificación (ϕ_{de}) para el subpulso (SP1, SP2) con la caracterización y la fase de codificación (ϕ_{en}) para el subpulso (SP1, SP2) con la otra caracterización se modifica en el mismo valor de un intervalo de repetición de pulsos (PRI) al siguiente.

13. Sistema de apertura sintética según la reivindicación 12, que está establecido para la realización de un procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 11.

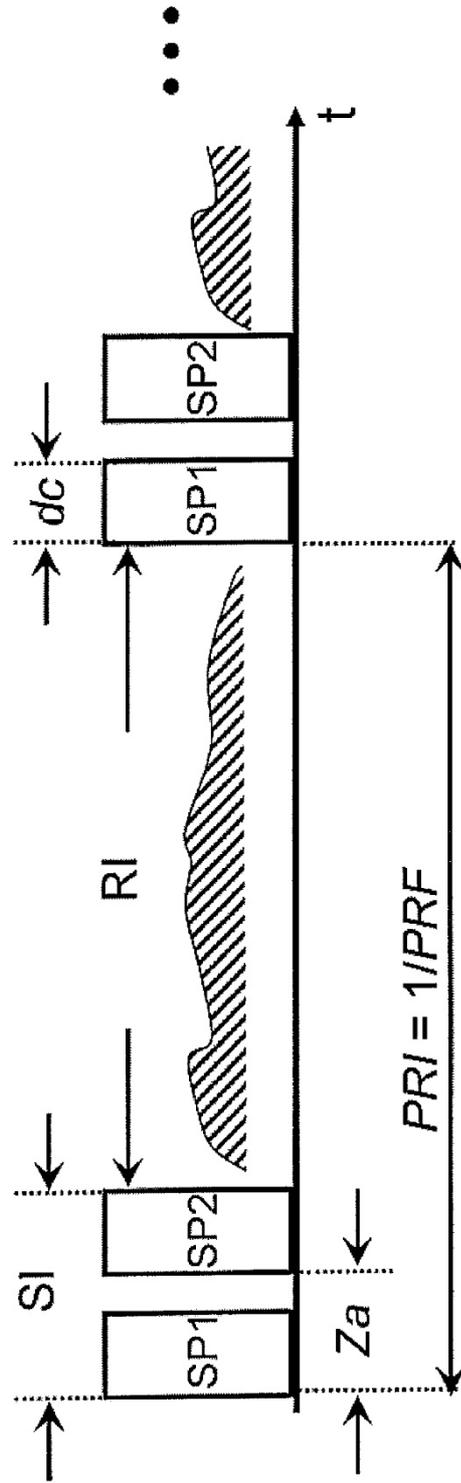


Fig. 1

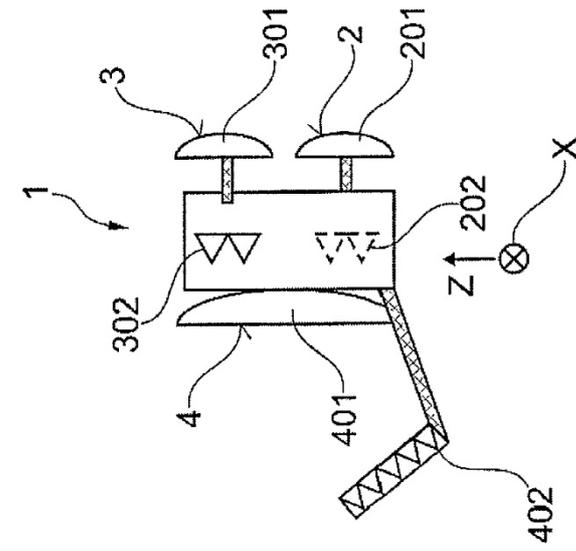


Fig. 2

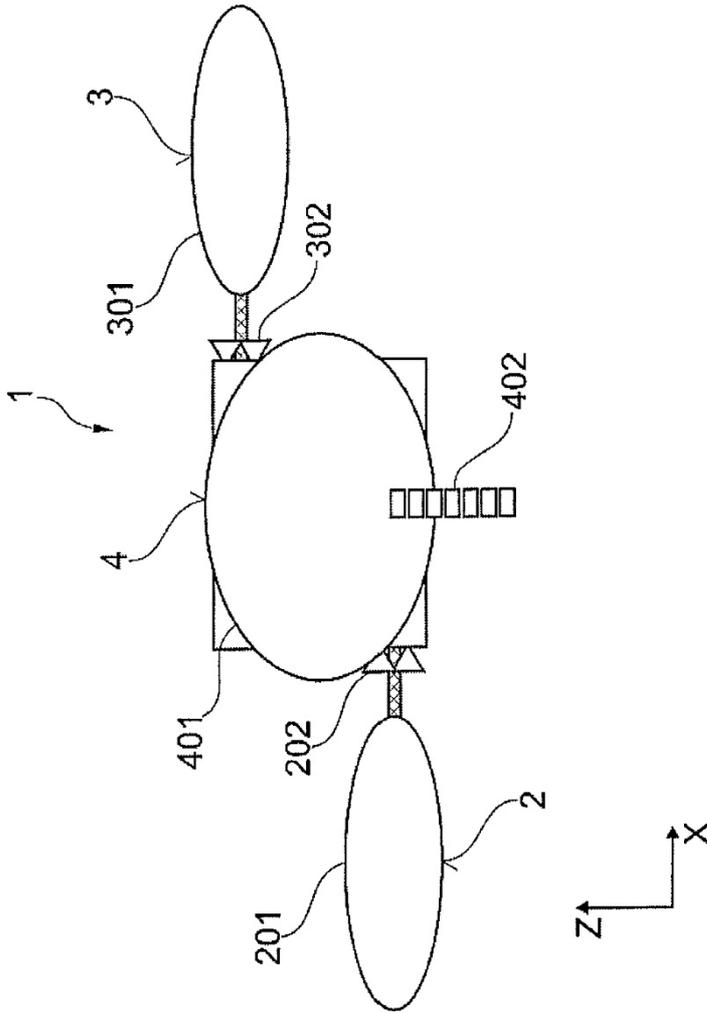


Fig. 3

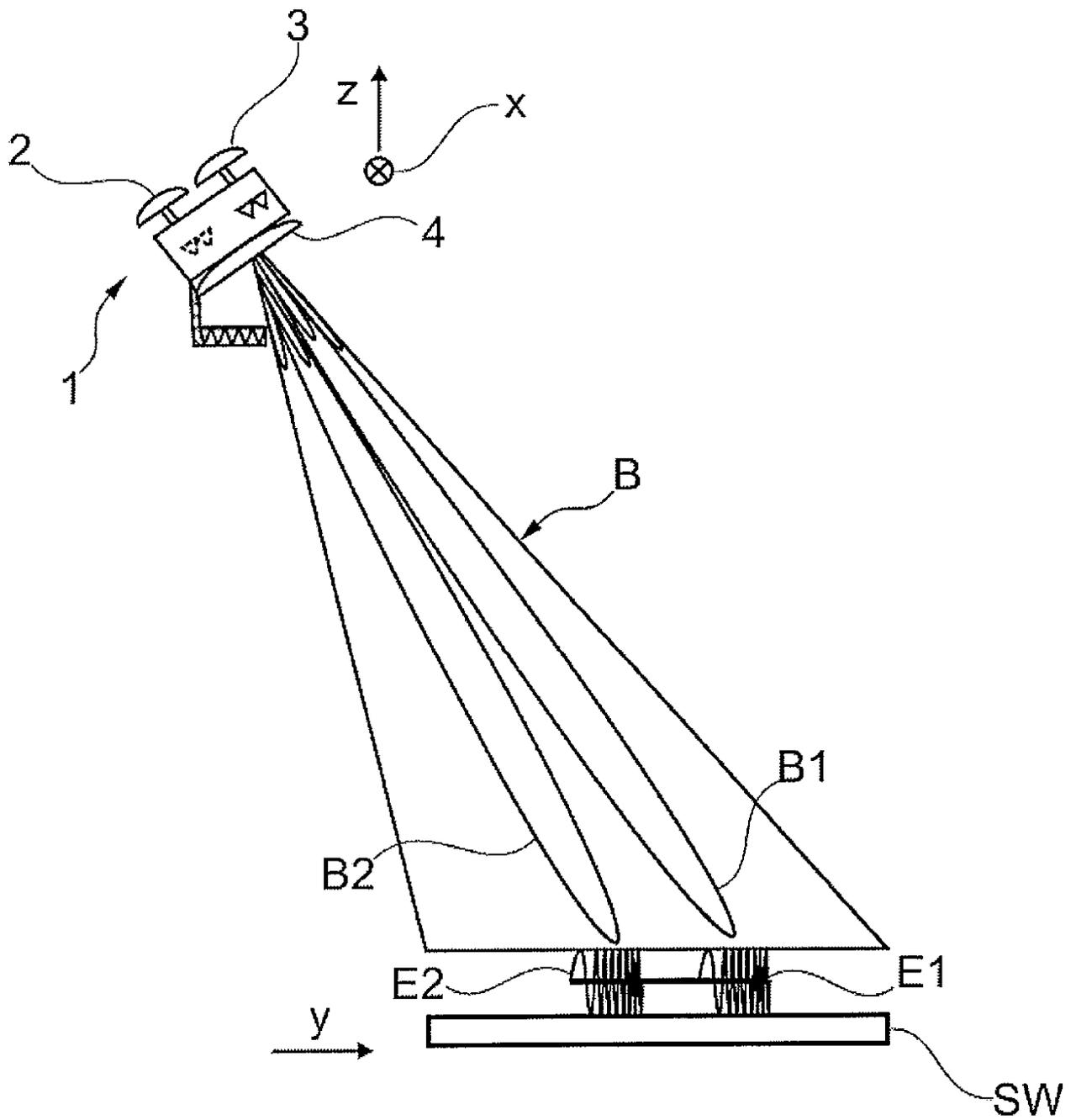


Fig. 4

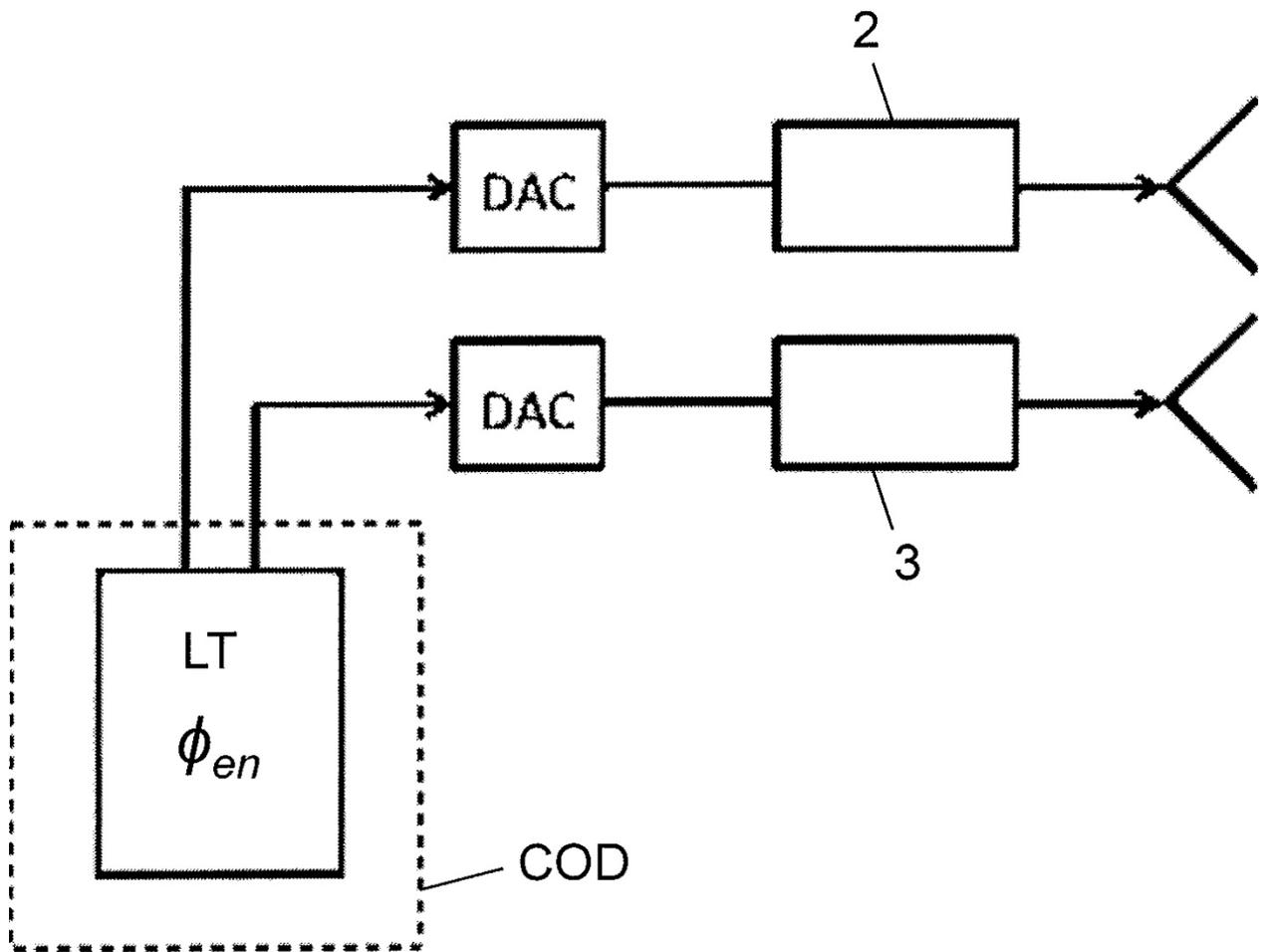


Fig. 5

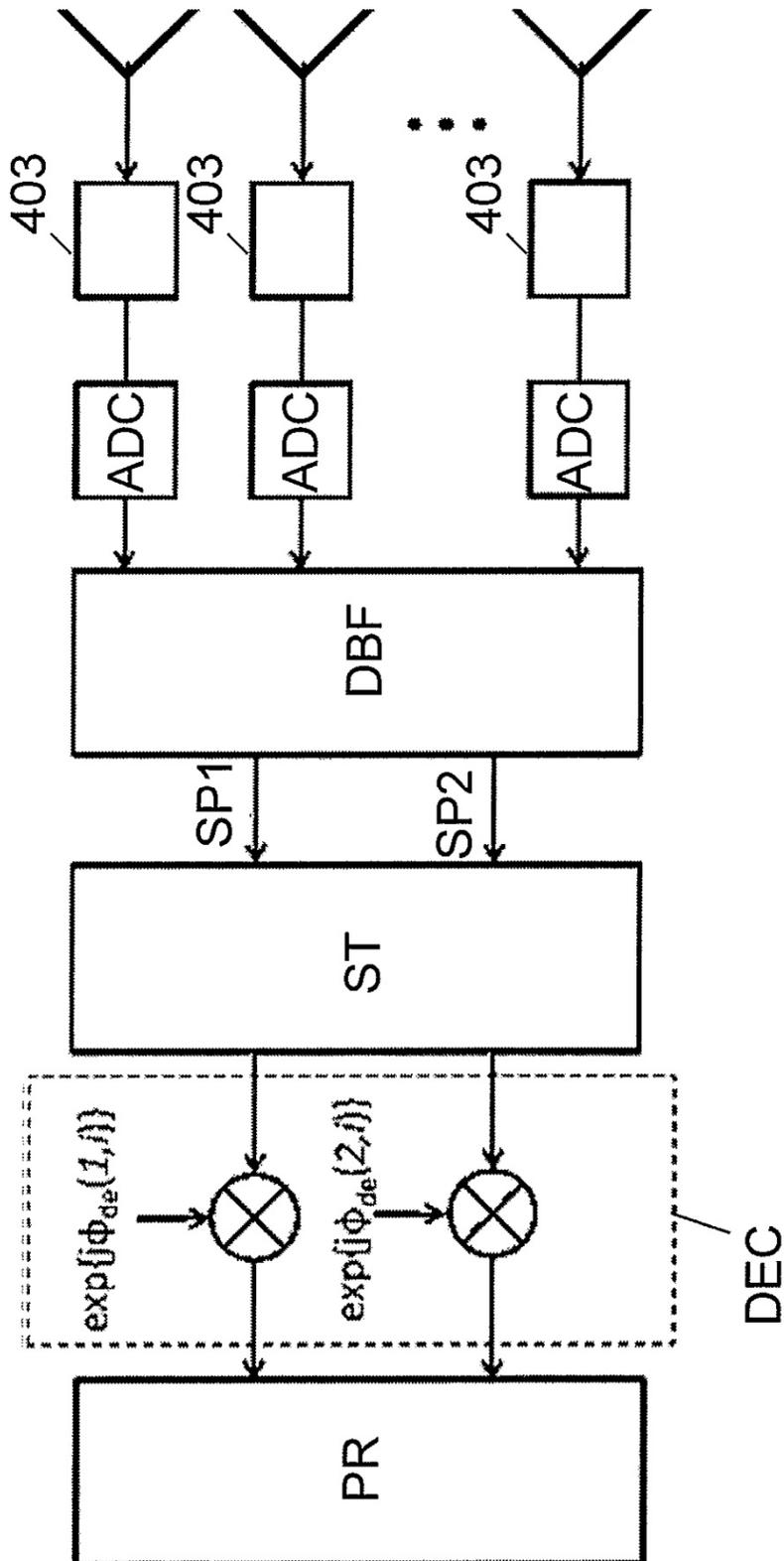


Fig. 6

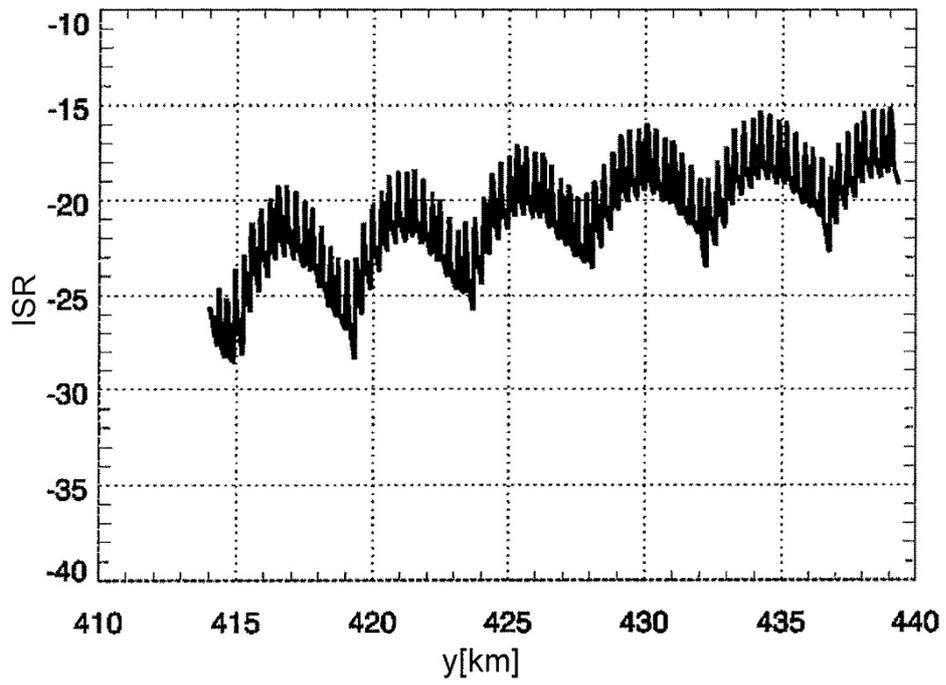


Fig. 7

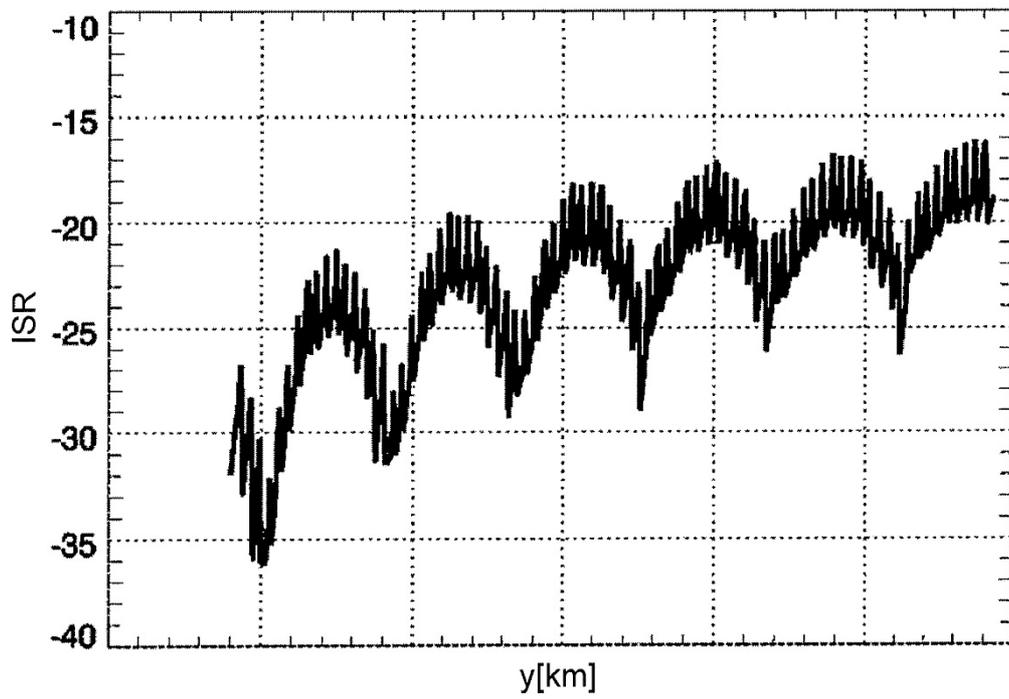


Fig. 8

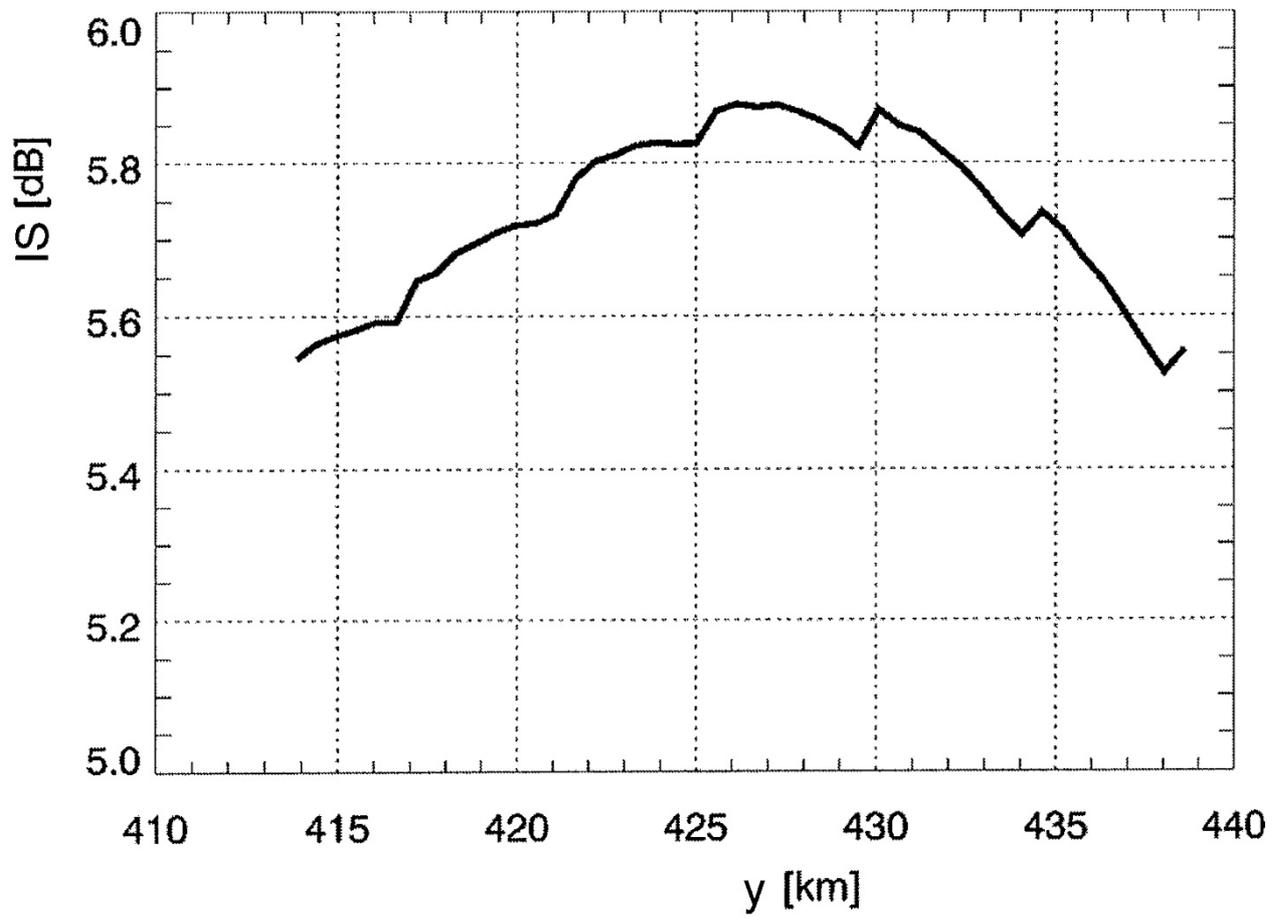


Fig. 9