



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 315 436**

51 Int. Cl.:
G01S 13/90 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03003517 .4**

96 Fecha de presentación : **15.02.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1343021**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.09.2003**

54 Título: **Procedimiento para la compensación de errores de movimiento de sistemas SAR aeroportados.**

30 Prioridad: **06.03.2002 DE 102 09 874**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.04.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.04.2009

73 Titular/es: **EADS Deutschland GmbH**
Willy-Messerschmitt-Strasse
85521 Ottobrunn, DE

72 Inventor/es: **Hippler, Jörg**

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

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 para la compensación de errores de movimiento de sistemas SAR aeroportados.

5 La invención se refiere a un procedimiento para la compensación de movimiento en sistemas SAR -del inglés “Synthetic Aperture Radar”, radar de apertura sintética- conforme al preámbulo de la reivindicación 1.

10 El empleo de sistemas de radar formadores de imagen, en particular sistemas SAR, situados en aparatos de vuelo, por ejemplo aviones, trae consigo la problemática de las características inestables de vuelo, por ejemplo debido a turbulencias. Condiciones de vuelo ideales, que son la base para la interpretación de datos SAR, no pueden presuponerse. Para poder interpretar los datos de radar, deben tenerse en cuenta por ejemplo una altura de vuelo variable y desviaciones laterales respecto a la ruta de vuelo ideal. La consecuencia de estas desviaciones respecto a la ruta de vuelo ideal, calificadas como errores de movimiento, son una historia de fase modificada, oscilaciones de tiempo de operación así como una modulación de amplitudes de la señal de retrodispersión. De ello resultan desventajosamente distorsiones geométricas, una disminución de la resolución espacial en la dirección azimutal y una disminución del contraste de imagen.

20 Se requieren por ello procedimientos para la compensación de estos errores de movimiento. En Klausing H.; Holpp W. “Radar mit realer und synthetischer Apertur”; Oldenbourg Verlag; München 2000, se describe un procedimiento en tres etapas para la compensación de los errores de movimiento (en inglés: *motion compensation*). En una primera etapa se compensa el desplazamiento de tiempo de operación desde la ruta de vuelo real hacia la ruta de vuelo ideal (deseada). Este tiempo de operación se produce en el camino de la proyección desde la ruta de vuelo real a la ruta de vuelo ideal a lo largo de la dirección de observación principal de la antena. Este tipo de error de movimiento se denomina también error de desplazamiento en distancia (*range-walk*). Correspondientemente, esta etapa de compensación se denomina también corrección de desplazamiento en distancia.

30 En una segunda etapa se compensa el error de fase provocado por la corrección de desplazamiento en distancia. En una tercera etapa se produce la compensación del error de detección en la dirección azimutal. Aquí se establece a lo largo de la ruta de vuelo ideal una detección espacialmente equidistante en la dirección azimutal. Los valores que faltan debido a la proyección son calculados aquí por interpolación. Con ello, se genera a lo largo de la ruta de vuelo ideal una malla de frecuencia de repetición de impulsos (PRF, del inglés “Pulse Repetition Frequency”). Se habla aquí también de una corrección de malla PRF.

35 Una desventaja del procedimiento conocido para la compensación de movimiento es que sólo trabaja de forma fiable para desviaciones pequeñas, también denominadas apartamientos, de la ruta de vuelo real respecto a la ruta de vuelo ideal. El umbral superior r_0 para un apartamiento aún permisible se hace menor con una mayor resolución ρ y se calcula con la longitud de onda λ de la frecuencia portadora del radar SAR según

$$40 \quad r_0 < \frac{\rho^2}{\lambda} . \quad (1)$$

45 Para una resolución ρ requerida elevada, en caso de desviaciones mayores que r_0 aparecen efectos de difracción, que llevan a errores de cálculo considerables en el cálculo de la compensación de movimiento con procedimientos usuales.

Otros procedimientos para la extracción y corrección de errores de movimiento en sistemas SAR son conocidos a partir de los documentos DE 196 10 502 A1 y US 5.627.543.

50 Constituye la tarea de la invención proporcionar un procedimiento para la compensación de errores para sistemas SAR, que tenga en cuenta efectos de difracción y con el que sea posible una resolución elevada también para un mayor apartamiento.

55 Esta tarea es resuelta a través del procedimiento conforme a las propiedades de la reivindicación 1. Realizaciones ventajosas del procedimiento conforme a la invención son objeto de las reivindicaciones subordinadas.

60 Conforme a la invención, la compensación de los errores de movimiento se produce mediante cálculo de una superposición de ondas elementales en uno o en cada punto sobre una ruta de vuelo ideal. Los puntos de partida de las ondas elementales están situados aquí conforme a la invención sobre un segmento de la ruta de vuelo real, que corresponde precisamente a aquel segmento que es observado por una antena, equipada con un ángulo de apertura $\Delta\varphi$ y situada en un punto de la ruta de vuelo ideal, bajo la dirección de observación principal φ_0 de la antena.

65 El procedimiento conforme a la invención se explica más detalladamente en lo que sigue con ayuda de la única figura, que representa las relaciones geométricas de la ruta de vuelo ideal y real.

La figura muestra un plano bidimensional, que pasa a través de la ruta de vuelo ideal 2 a lo largo del eje x y a través de la dirección de observación de la antena (*slant range*) a lo largo del eje r. Fuera de este plano x-r se encuentra la

ES 2 315 436 T3

ruta de vuelo real 1 del aparato de vuelo, no representado. Según el procedimiento conforme a la invención, la ruta de vuelo real 1 es proyectada sobre el plano x-r. La zona observada por la antena y no representada se encuentra dentro del semiplano positivo $r > 0$.

Para la generación de un valor de medida en el punto R sobre la ruta de vuelo ideal 2, se emplean aquellos valores de medida de los puntos R' sobre la ruta de vuelo real 1 que están situados sobre un segmento ΔL . Como valor de medida en el punto R' se entiende aquí en general la señal de radar medida en el respectivo punto R' sobre la ruta de vuelo real 1. Correspondientemente, como valor de medida en el punto R se entiende la señal de radar calculada en el punto R de la ruta de vuelo ideal 2.

El segmento ΔL sobre la ruta de vuelo real 1 resulta de que conforme a la invención, desde un punto R sobre la ruta de vuelo ideal 2 se proyecta sobre la ruta de vuelo real 1 el campo angular de observación de la antena del procesamiento SAR. El punto R es aquí aquel punto sobre la ruta de vuelo ideal 2 en el que debe ser calculado el valor de medida. El campo angular de observación de la antena se obtiene aquí de la dirección de observación principal φ_0 de la antena y del ángulo de apertura $\Delta\varphi$ de la antena, resultando ser $\varphi_0 \pm \Delta\varphi/2$. Los puntos R, en los cuales se calcula respectivamente un valor de medida, están dispuestos a lo largo de la ruta de vuelo ideal 2 ventajosamente con una separación equidistante entre sí. La ventaja aquí es que con ello, sin esfuerzo de cálculo sino simplemente mediante una elección apropiada de la disposición en malla de los puntos R, puede llevarse a cabo la corrección de malla PRF.

Los distintos puntos R' en el segmento ΔL sobre la ruta de vuelo real 1 son considerados ventajosamente como fuentes de Huygens, de las que parten ondas elementales. Estas ondas elementales son de forma conocida ondas esféricas. En el punto R sobre la ruta de vuelo ideal 2 se llega así a una superposición de varias ondas elementales, cuyas fuentes son los puntos R' en el segmento ΔL sobre la ruta de vuelo real 1. El cálculo del valor de medida $U(R)$ en el punto R sobre la ruta de vuelo ideal 2 se realiza con ello conforme a la invención según

$$U(R) = \frac{1}{\gamma\left(\sqrt{\frac{A}{\lambda}}\Delta\varphi\right)} \sqrt{2\frac{A}{\lambda}} \frac{\Delta\varphi}{N_{\Delta L}} \sum_{N_{\Delta L}} \left(U(R') \exp\left(-j\frac{4\pi}{\lambda}|\vec{R} - \vec{R}'| \text{sign}(r)\right) \right). \quad (2)$$

Aquí son

$U(R')$: el valor de medida en el punto R' de la ruta de vuelo real 1,

λ : la longitud de onda de la frecuencia portadora del radar SAR,

ΔL : el segmento sobre la ruta de vuelo real 1,

$\Delta\varphi$: el ángulo de apertura de la antena,

$N_{\Delta L}$: el número de puntos de medida en el segmento ΔL ,

A : la separación media entre ΔL y el punto R,

γ : una función de normalización.

Los vectores $\vec{R}$ y $\vec{R}'$ representan las separaciones de los puntos R y R' respecto al origen de coordenadas del plano x-r. La función $\text{sign}(r)$ es la función signo, que sirve para diferenciar entre la propagación hacia delante y la propagación hacia atrás. Esto quiere decir que dependiendo de si se encuentra más cerca de la zona observada la ruta de vuelo real o la ideal, el valor de la función signo es -1 ó +1.

La función de normalización γ es ventajosamente $\sqrt{2}$ veces la integral de Fresnel compleja conjugada, según

$$\gamma(x) = \sqrt{2} \int_0^x \exp\left(-j\pi\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (3)$$

La resolución ρ del procesamiento SAR depende del ángulo de apertura $\Delta\varphi$, del peso escogido para el espectro local en la dirección x (espectro azimutal) y de la dirección principal de observación φ_0 . Sin un peso para el espectro local, lo que corresponde a una ventana rectangular, la resolución resulta ser

$$\rho = \frac{\lambda}{2 \cdot \Delta\varphi \cdot \cos(\varphi_0)} \cdot \quad (4)$$

Con el procedimiento conforme a la invención es posible dividir el apartamiento de la ruta de vuelo real respecto a la ruta de vuelo ideal en un intervalo cercano y uno lejano. En caso de que las separaciones estén en el intervalo cercano, es decir que el apartamiento sea menor que el umbral r_0 indicado en la ecuación (1), entonces la compensación de movimiento puede calcularse según el procedimiento usual. Si el apartamiento es por el contrario mayor que el umbral r_0 indicado en la ecuación (1), entonces la compensación de movimiento se lleva a cabo según el procedimiento conforme a la invención.

Con la prescripción de cálculo indicada en la ecuación (2) es posible poder cambiar entre el intervalo cercano y el lejano sin discontinuidad en el cálculo. Esto se consigue en particular mediante el factor previo a la suma en la ecuación (2).

Con el procedimiento conforme a la invención para la compensación de movimiento se lleva a cabo al mismo tiempo tanto una corrección de desplazamiento en distancia como una corrección de fase. Una ventaja adicional es que basta una elección apropiada de los puntos R, que tienen una separación equidistante entre sí sobre la ruta de vuelo ideal, para poder llevar a cabo la corrección de malla PRF, sin que tenga que estar previsto para ello un paso de cálculo separado y costoso en tiempo como en el procedimiento conocido.

Otra ventaja del procedimiento conforme a la invención es que se tienen en cuenta los efectos de difracción. Además de ello se reducen claramente los errores de fase respecto a los procedimientos usuales. De esto resultan otras ventajas del procedimiento conforme a la invención en particular en procesamientos SAR en los que se requiere una elevada resolución.

Además de ello es posible ventajosamente con el procedimiento de compensación de movimiento conforme a la invención emplear algoritmos de cálculo para el enfoque de imagen SAR, que se basan en la transformada rápida de Fourier (FFT, del inglés "Fast Fourier Transform"). Precisamente para los algoritmos que se basan en la transformada FFT en el enfoque SAR es una premisa básica la existencia de datos de radar sobre una trayectoria de vuelo prefijada, por ejemplo una trayectoria circular o una línea recta, en una malla equidistante.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la compensación de errores de movimiento de sistemas SAR aeroportados, en que se proyectan sobre la ruta de vuelo ideal (2) del aparato de vuelo puntos de medida R' , situados sobre la ruta de vuelo real (1), con sus valores de medida $U(R')$ asociados, **caracterizado** porque la compensación de los errores de movimiento se produce mediante cálculo de una superposición de ondas elementales en uno o en cada punto R sobre la ruta de vuelo ideal (2), en que los puntos de partida de las ondas elementales están situados sobre un segmento ΔL de la ruta de vuelo real (1), que corresponde precisamente a aquel segmento que es observado por una antena, equipada con un ángulo de apertura $\Delta\varphi$ y situada en un punto R de la ruta de vuelo ideal (2), bajo la dirección de observación principal φ_0 de la antena, en que el valor de medida $U(R)$ en un punto R de la ruta de vuelo ideal (2) se calcula como sigue:

$$U(R) = \frac{1}{\gamma\left(\sqrt{\frac{R}{\lambda}}\Delta\varphi\right)} \sqrt{2\frac{R}{\lambda}} \frac{\Delta\varphi}{N_{\Delta L}} \sum_{N_{\Delta L}} \left(U(R') \exp\left(-j\frac{4\pi}{\lambda}|\bar{R} - \bar{R}'| \text{sign}(r)\right) \right)$$

con

$U(R')$: valor de medida en el punto R' de la ruta de vuelo real,

λ : longitud de onda de la frecuencia portadora del radar SAR

ΔL : segmento sobre la ruta de vuelo real,

$\Delta\varphi$: ángulo de apertura de la antena,

$N_{\Delta L}$: número de puntos de medida en el segmento ΔL ,

R : separación media entre ΔL y el punto R ,

γ : función de normalización.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la función de normalización γ es $\sqrt{2}$ veces la integral de Fresnel compleja conjugada, según

$$\gamma(x) = \sqrt{2} \int_0^x \exp\left(-j\pi\frac{t^2}{2}\right) dt \quad .$$

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque los puntos R sobre la ruta de vuelo ideal (2) tienen una separación equidistante entre sí.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque las ondas elementales son ondas de Huygens.

5. Aplicación de un procedimiento conforme a una de las reivindicaciones precedentes en el enfoque de imagen SAR con empleo de algoritmos de cálculo basados en la transformada FFT.

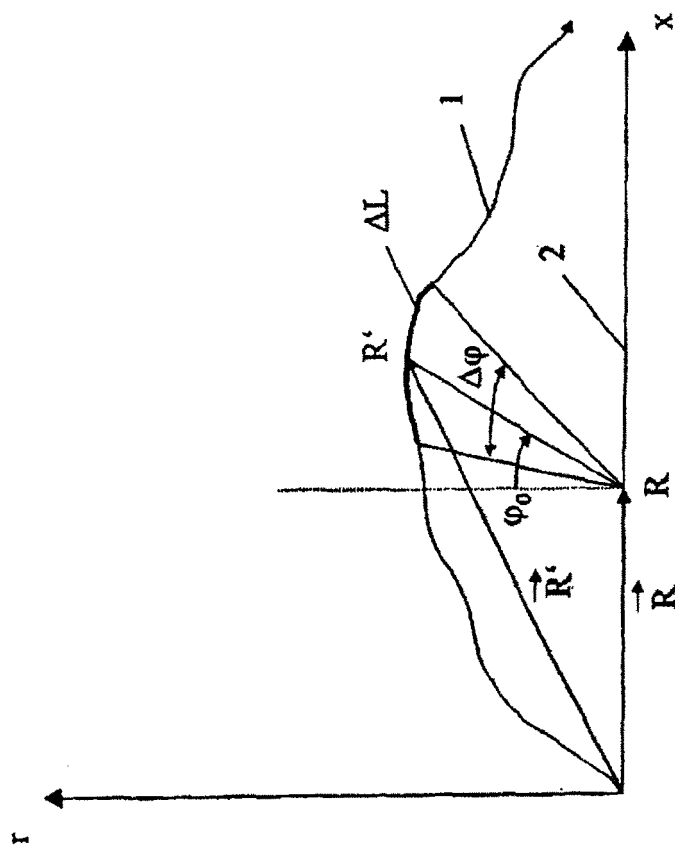


Fig.