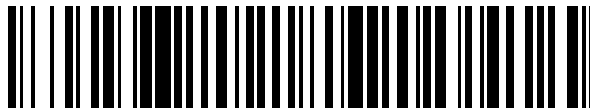


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 602 042**

51 Int. Cl.:

G01S 13/90 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.05.2011 E 11165845 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.08.2016 EP 2388617**

54 Título: **Procedimiento de construcción de imágenes de radar enfocadas**

30 Prioridad:

18.05.2010 FR 1002083

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

17.02.2017

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
45, rue de Villiers
92200 Neuilly Sur Seine, FR**

72 Inventor/es:

**BOSSER, LUC;
BROUSSOLLE, JOAN y
LAFaix, M. JULIEN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 602 042 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 construcción de imágenes de radar enfocadas

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de construcción de imágenes de radar enfocadas, en concreto imágenes obtenidas mediante apertura sintética, designándose a menudo esta técnica por el acrónimo anglosajón SAR para "*Synthetic Aperture Radar*". La invención se aplica en concreto a la producción de imágenes SAR de alta resolución a partir de una aeronave equipada con una antena radar.

10 Como recordatorio, la figura 1 ilustra una fase de adquisición de datos por un portador móvil en modo SAR "Spot", es decir un modo en el que el haz de antena se dirige permanentemente hacia la zona que hay que convertir en imagen. Un radar fijado en una aeronave 101 ilumina una zona 102 convertida en imagen durante una duración T_e de iluminación dirigiendo el haz 103 de antena hacia el centro 104 de dicha zona 102 a lo largo de la trayectoria 105 de la aeronave 101. Esta duración T_e es inversamente proporcional a la resolución contemplada según el eje 106 transversal, siendo la resolución según el eje 108 radial a su vez, inversamente proporcional a la banda emitida por la antena radar. La zona 102 convertida en imagen está mallada por una cuadrícula 110 de celdas para cada una de las que se busca asociar al menos un nivel de reflectividad.

15 Las detecciones del radar permiten crear una imagen según el eje 108 radial y el eje 106 transversal, respectivamente designados a continuación por los términos de eje 108 "Distancia" y de eje 106 "Doppler". Esta imagen, calificada a continuación de imagen "Distancia-Doppler", proporciona para cada celda M situada en el interior de la zona 102 convertida en imagen, un valor de distancia D_M y un valor de frecuencia Doppler f_M , estando estos dos valores D_M y f_M referenciados con respecto a un instante t_{ref} dado correspondiente, por ejemplo, al paso de la mitad de la duración total de iluminación.

20 Al describir un sector angular dado alrededor de la zona 102 convertida en imagen, el radar recolecta periódicamente una serie de N perfiles en distancia con una frecuencia de recurrencia f_r igual a N/T_e . Cada uno de los N perfiles en distancia ofrece una representación monodimensional de la zona 102 convertida en imagen según el eje 108 distancia. Además, el eje 108 distancia está dividido en varias casillas, teniendo cada una de dichas casillas preferentemente un tamaño ligeramente inferior a la resolución en distancia. Para una casilla distancia dada, un análisis espectral según el eje 106 transversal efectuado sobre la señal recolectada permite discriminar en Doppler los diferentes ecos contenidos en el interior de esta casilla. Este análisis espectral permite discriminar los ecos con la resolución deseada si se cumplen algunas condiciones. Para cumplir estas condiciones, unos algoritmos de enfoque aplican correcciones sobre la señal recolectada para cada uno de los reflectores de la zona 102 convertida en imagen, comprendiendo estas correcciones:

- por una parte, una corrección de migración en distancia, para compensar la variación de distancia entre el reflector y el centro de fase de la antena durante la iluminación;
- por otra parte, una corrección de migración en Doppler, para compensar el término no lineal de fase de la señal debido a las variaciones de la velocidad de acercamiento radar-reflector, para conservar una señal de frecuencia fija.

35 El empleo de los algoritmos clásicos de enfoque impone conocer muy precisamente la trayectoria del centro de fase de la antena radar durante la adquisición de las señales, a fortiori cuando la resolución de imagen deseada es fina, siendo por tanto el tiempo de iluminación requerido de la zona convertida en imagen largo, pudiendo este tiempo de iluminación, por ejemplo, superar un minuto. Ahora bien, cuando la antena radar se fija en un portador móvil tal como un avión, particularmente sensible a las perturbaciones atmosféricas, esta trayectoria no puede conocerse generalmente con suficiente precisión, sobre todo cuando el radar no posee un sistema inercial propio. Asimismo, unos algoritmos, llamados de autofoco, corrigen los defectos residuales de enfoque explotando la información contenida en la propia señal radar, sin usar solo las informaciones exteriores de medición de trayectoria.

40 Para resumir, clásicamente, la generación de una imagen SAR enfocada se desarrolla en tres etapas. En un primer paso, una imagen en plena resolución se genera por un algoritmo de formación de imagen conocido: subsiste por tanto un desenfoque residual debido a las imprecisiones de medición de la trayectoria del centro de fase de la antena, en otros términos, debido a las imprecisiones de medición de la trayectoria del portador. En un segundo paso, este desenfoque residual se valora mediante una técnica de autofoco aplicada a la imagen "plena resolución" calculada anteriormente. En un tercer paso, la imagen generada en la primera etapa se vuelve a enfocar usando el desenfoque residual valorado anteriormente. Esta perspectiva consta de varios inconvenientes.

45 Por una parte, disocia totalmente la primera etapa de las etapas siguientes. Ahora bien, la primera etapa se refiere a la formación de una imagen en plena resolución cuya calidad de enfoque depende de la calidad de medición de la trayectoria del centro de fase de la antena, medición generalmente efectuada por un sensor externo al radar, mientras que las etapas siguientes se empeñan en efectuar tratamientos de autoenfoco explotando la imagen en plena resolución formada anteriormente. De este modo, cuando los tiempos de iluminación se hacen muy largos, los errores de medición en la trayectoria del portador provocan un deterioro de la calidad de enfoque de modo que, al final de la primera etapa, el desenfoque residual se hace imposible de valorar correctamente durante la segunda etapa.

5 Por otra parte, esta perspectiva obliga a esperar el final de la adquisición de las señales antes de empezar a formar la imagen ya que la primera etapa contempla la formación inmediata de una imagen de resolución lo más fina posible explotando la totalidad de la adquisición. Ahora bien, a veces es útil disponer de imágenes resueltas aproximadamente de una zona dada antes de que el tiempo de iluminación de dicha zona transcurra completamente. También, por motivos de optimización del uso de las herramientas de tratamiento de las señales radar, puede ser ventajoso efectuar cálculos en tiempo real, sin esperar la terminación de la iluminación completa de la zona. Los procedimientos de construcción de imagen SAR actualmente empleados no permiten responder sencillamente a estas necesidades.

10 Por último, las imágenes SAR están contaminadas de manera inherente por un ruido multiplicativo que puede dañar la legibilidad de la imagen. Un método eficaz para resolver este problema es construir varias imágenes girando alrededor de la zona convertida en imagen para sumar estas imágenes en potencia tras haberlas superpuesto de manera apropiada, de modo que se reduzca la desviación tipo del ruido. Sin embargo, los procedimientos conocidos de conversión en imagen SAR no integran generalmente de manera natural este método en la generación de la imagen.

15 La patente norteamericana publicada con el número US6255981 propone métodos para reajustar las imágenes obtenidas por conversión en imagen por radar de síntesis de apertura inversa, pero no permite mejorar las técnicas de desenfoque.

20 Un objetivo de la invención es proponer una solución para los problemas mencionados anteriormente integrando las etapas de autoenfoco al centro del procedimiento de generación de una imagen de radar, pudiendo además dicha generación efectuarse a medida que los datos se recolectan por el radar. A tal efecto, la invención tiene por objeto un procedimiento de construcción de imágenes de radar enfocadas que comprende al menos las etapas siguientes:

- recortar el período de iluminación del radar en p subperíodos, solapándose dos subperíodos sucesivos de manera temporal;
- elegir n_0 subperíodos sucesivos entre los p subperíodos, y para cada uno de estos n_0 subperíodos, efectuar adquisiciones de radar para generar una imagen IM_{0x} de resolución R_0 ;
- aplicar un tratamiento de autofoco sobre cada una de las n_0 imágenes IM_{0x} generadas;
- combinar las n_0 imágenes tratadas por autofoco con el fin de generar al menos una nueva imagen de radar IM_{1x} enfocada, caracterizándose el procedimiento porque las etapas de combinación de las imágenes (204) y de autofoco (203) se repiten reiteradamente para obtener una imagen R_{fin} de resolución deseada,
- al generarse n_0 imágenes enfocadas al cabo de un tratamiento de autofoco, el procedimiento consta de una fase reiterada que comprende al menos las etapas siguientes:

- iniciar variables n_i y R_i como sigue: $n_i=n_0$ y $R_i=R_1$;
- siempre y cuando la resolución R_i sea más aproximada que la resolución R_{fin} deseada:
 - distribuir las n_i imágenes R_i de resolución generadas anteriormente, en n_{i+1} juntos, conteniendo cada uno de dichos conjuntos al menos dos imágenes, sucediéndose las imágenes de manera temporal;
 - para cada uno de los n_{i+1} conjuntos de imágenes R_i de resolución:
 - combinar las imágenes del conjunto para generar una nueva imagen R_{i+1} de resolución más fina;
 - aplicar un tratamiento de autofoco sobre la nueva imagen R_{i+1} de resolución más fina;
 - actualizar las variables n_i y R_i , n_{i+1} se vuelve n_i y R_{i+1} se vuelve R_i .

40 La resolución de la imagen obtenida depende de la duración de iluminación cubierta por el conjunto de los n_0 subperíodos elegidos, cuanto más larga es esta duración, más fina es la resolución de la imagen resultante. Este procedimiento permite obtener una imagen de alta resolución disminuyendo los errores de enfoque habitualmente presentes cuando el tiempo de iluminación del radar es largo. Además, se puede disponer de una imagen R_i subresuelta antes de haber alcanzado la resolución R_{fin} deseada.

45 Cada iteración de la etapa de combinación de las imágenes puede comprender una etapa de elección entre una combinación coherente y una etapa de combinación no coherente.

Según un modo de implementación del procedimiento según la invención, la etapa de combinación coherente de las imágenes comprende al menos las subetapas siguientes:

- reajustar de manera temporal las imágenes entre sí;
- modificar las imágenes reajustadas para hacerlas superponibles;
- ensamblar las señales temporales que corresponden a cada una de las imágenes superponibles para generar una nueva señal,
- aplicar una transformada de Fourier según el eje temporal sobre dicha nueva señal para generar al menos una imagen R_1 de resolución más fina que R_0 .

55 Para las duraciones de iluminación consideradas y las clases de error consideradas en la medición de la trayectoria del centro de fase de la antena, el error cometido en el ajuste temporal se traduce de una imagen a otra por un

desfase residual uniforme en el conjunto de los puntos de la zona convertida en imagen.

Según un modo de implementación del procedimiento según la invención, una imagen de referencia IM_{ref} se elige entre las n_0 imágenes que hay que combinar, y la etapa de reajuste temporal de las imágenes entre sí comprende al menos las subetapas siguientes:

- 5 ○ para cada una de las n_0-1 imágenes IM_x que no son la imagen IM_{ref} :
- reajustar en posición los puntos reflectores de la imagen IM_x con respecto a los puntos reflectores de la imagen IM_{ref} de referencia;
 - reajustar en fase la imagen IM_x con respecto a IM_{ref} .

10 La etapa de reajuste temporal permite referenciar todas las imágenes con respecto a una referencia de tiempo común. Esta etapa explota la medición de trayectoria del centro de fase de la antena a lo largo del tiempo. La imprecisión sobre esta medición se traduce por un desfase residual común al conjunto de los puntos de la zona convertida en imagen. Este desfase residual uniforme se corrige a continuación para hacer las imágenes superponibles. Preferentemente, la imagen IM_{ref} de referencia elegida es la imagen procedente de un subperíodo central entre los n_0 subperíodos.

15 Según un modo de implementación del procedimiento según la invención, una imagen IM_{ref} de referencia se elige entre las n_0 imágenes que hay que combinar, comprendiendo la etapa de modificación de las imágenes reajustadas para hacerlas superponibles al menos las subetapas siguientes:

- para cada una de las n_0-1 imágenes IM_x que no son la imagen IM_{ref} :
- valorar el desfase residual de IM_x con respecto a IM_{ref} que valora la posición del pico de correlación entre estas dos imágenes IM_{ref} e IM_x ;
 - corregir la imagen IM_x aplicando a ella el desfase opuesto al valorado en la etapa anterior.
- 20

25 Según un modo de implementación del procedimiento según la invención, una misma zona geográfica se alumbra por el radar durante toda la duración de la iluminación y los n_0 subperíodos de recorte temporal se solapan sustancialmente de mitad, eligiéndose los conjuntos para comprender tres imágenes R_i de resolución, siendo la resolución R_{i+1} de la imagen generada a partir de dichas tres imágenes sustancialmente dos veces más fina que la resolución R_i .

30 Según un modo de implementación del procedimiento según la invención, se paralelizan los tratamientos de combinación, combinándose unas imágenes R_a de resolución, agrupadas en un primer conjunto, paralelamente a la combinación de imágenes R_b de resolución, R_b siendo más fina que R_a , agrupadas en un segundo conjunto, procediendo las imágenes del primer conjunto de adquisiciones de radar efectuadas en un periodo separado de las adquisiciones de radar efectuadas para producir las imágenes del segundo conjunto. La paralelización de los tratamientos permite obtener una imagen más temprana, y optimizar el uso de los recursos.

Según un modo de implementación del procedimiento según la invención, la etapa de combinación no coherente comprende al menos las etapas siguientes:

- 35 ■ reajustar de manera temporal las imágenes entre sí;
- modificar las imágenes reajustadas para hacerlas superponibles;
 - poner en conformidad las imágenes superponibles en un punto de referencia común;
 - sumar las imágenes conformes para promediarlas en potencia.

40 Otras características aparecerán tras la lectura de la descripción detallada dada a título de ejemplo y no limitativa de a continuación hecha con relación a los dibujos adjuntos que representan:

- la figura 1, una ilustración de una fase de adquisición de datos por un portador móvil (técnica anterior);
 - la figura 2, un sinóptico que presenta las etapas principales de un procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención,
 - la figura 2a, un sinóptico que presenta las etapas de un primer procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención,
 - la figura 2b, un sinóptico que presenta las etapas de un segundo procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención,
 - la figura 2c, un sinóptico que presenta las etapas de un tercer procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención,
 - la figura 3, un esquema que ilustra el procedimiento de construcción de imagen SAR de la figura 2c;
 - la figura 4, un sinóptico que precisa las etapas que hay que ejecutar para la combinación coherente de las imágenes en un procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención;
 - la figura 5, un ejemplo de tres imágenes que hay que combinar mediante un procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención;
 - la figura 6, las tres imágenes de la figura 5 modificadas al cabo de la ejecución de una etapa de reajuste en
- 45
- 50
- 55

- posición en un procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención;
- las figuras 7a, 7b y 7c, una ilustración de la etapa de reajuste en fase efectuada durante una combinación coherente de las imágenes en un procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención;
- 5 - la figura 8, las tres imágenes de la figura 6 al cabo de la ejecución de una etapa de superposición de las imágenes en un procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención;
- la figura 9, una ilustración de una etapa de ensamblado de las imágenes de la figura 8 en un procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención;
- la figura 10, la imagen resultante, al cabo de una combinación coherente de las tres imágenes de la figura 5 en un procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención;
- 10 - la figura 11, un sinóptico que precisa las etapas que hay que ejecutar para la combinación no coherente de las imágenes en un procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención.

Por motivos de claridad, las mismas referencias en figuras diferentes designan los mismos elementos.

La figura 2 es un sinóptico que presenta las etapas principales de un procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención.

- 15 En un primer tiempo 201, el periodo T_e de iluminación completo se recorta en p subperíodos anotados P_x , variando x de 1 a p , solapándose dos subperíodos P_x y P_{x+1} sucesivos parcialmente en el tiempo.

En un segundo tiempo 202, para cada subperíodo P_x , se genera una imagen IM_{0x} Distancia-Doppler, constando la imagen IM_{0x} de las características siguientes:

- 20 ■ IM_{0x} está referenciada de manera temporal con respecto al centro t_x del subperíodo P_x ;
- el punto central de esta imagen corresponde al punto de la zona contemplada por el haz de antena en el instante t_x (en el caso de un modo radar Spot, es punto idéntico a lo largo de la iluminación T_e);
- la resolución R_0 transversal de la imagen IM_{0x} corresponde a una duración T_e/k de iluminación inferior a la duración T_e de la iluminación completa, su resolución R_0 es por tanto generalmente más aproximativa que la resolución R_{fin} final contemplada;
- 25 ■ la resolución radial de la imagen IM_{0x} no depende de la calidad de medición de la trayectoria del centro de fase de la antena durante la iluminación; por consiguiente, esta resolución radial puede ser de inmediato lo más fina posible.

- 30 En un tercer tiempo 203, para cada imagen IM_{0x} , unos algoritmos clásicos de autofocus se aplican para corregir los defectos de enfoque de la imagen IM_{0x} . Para que los algoritmos de autofocus empleados permitan obtener una buena calidad de enfoque de la imagen IM_{0x} , la duración T_e/k de un subperíodo P_x de iluminación se elige lo suficientemente corta: unos segundos como máximo, mientras que la iluminación total puede cubrir varias decenas de segundos, de modo que las imprecisiones de medición de trayectoria del centro de fase de la antena sean mínimas y que los errores de enfoque sean totalmente reversibles o casi.

- 35 En un cuarto tiempo 204, las imágenes IM_{0x} se combinan, ya sea para obtener una o varias imágenes de resolución más fina que R_0 , ya sea para obtener una imagen cuya cobertura espacial se amplía o cuyo ruido radiométrico se reduce, o bien también para obtener una o varias imágenes que constan de varias de estas mejoras. A continuación se detallan dos métodos para combinar las imágenes.

- 40 La figura 2a es un sinóptico que presenta las etapas de un primer procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención, en el que se emplea un primer método de combinación de las imágenes. Las primeras etapas 201, 202, 203, respectivamente, de recorte del periodo de iluminación 201, de generación 202 de las imágenes IM_{0x} , luego de autofocus 203, son idénticas a las que se describen en la figura 2.

- 45 Al cabo de la etapa 203 de autofocus, una prueba 243 se ejecuta para determinar si la finura de resolución R_0 transversal de las imágenes IM_{0x} es superior o igual a la finura de resolución R_{fin} deseada. Si la finura de resolución de las imágenes es insuficiente con relación a la resolución R_{fin} esperada, una etapa 241 de combinación se ejecuta para afinar la resolución. A lo largo de esta etapa 241, varias imágenes IM_{0x} procedentes de subperíodos de iluminación que se solapan de manera temporal se combinan con el objetivo de producir una o varias nuevas imágenes IM_{1x} cuya resolución R_1 se afina según el eje transversal. Este método de combinación se califica a continuación de "combinación coherente".

- 50 Al cabo de esta etapa 241 de combinación coherente, el procedimiento vuelve a la etapa 203 de corrección de los defectos de enfoque de las imágenes proporcionando al algoritmo de autofocus las imágenes IM_{1x} afinadas.

- 55 Tras N iteraciones de la etapa 241 de combinación coherente, cuando la prueba 243 indica que la resolución R_N de imágenes IM_{Nx} obtenidas durante la última iteración de combinaciones es suficiente con relación a la resolución R_{fin} contemplada (o cuando una sola imagen IM_{N1} se ha producido durante esta última iteración, lo que, naturalmente, hace imposible cualquier combinación suplementaria), entonces la o las imágenes IM_{Nx} se transmiten en salida 205.

La figura 2b es un sinóptico que presenta las etapas de un segundo procedimiento de construcción de imagen SAR

según la invención, en el que se emplea un segundo método de combinación de las imágenes. Las primeras etapas 201, 202, 203, respectivamente, de recorte del periodo 201 de iluminación, de generación 202 de las imágenes IM_{0x} , luego de autofocus 203, son idénticas a las que se describen en la figura 2.

5 El segundo método para combinar las imágenes IM_{0x} es una combinación llamada "no coherente". Este método no permite afinar la resolución; contempla mejorar la radiometría de la imagen y/o ampliar el tamaño de la zona convertida en imagen. Según este método, n subperíodos P_x , $n \leq p$, de iluminación se usan para formar el conjunto de la zona convertida en imagen.

10 Al cabo de la etapa 203 de autofocus, una etapa 242 de combinación no coherente de las imágenes se ejecuta para producir una o varias imágenes de poco ruido radiométrico y/o de cobertura ampliada; la o las imágenes producidas se transmiten en salida 205.

La figura 2c es un sinóptico que presenta las etapas de un tercer procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención, en el que se emplean el primer y el segundo método de combinación de las imágenes. Las primeras etapas 201, 202, 203, respectivamente, de recorte del periodo 201 de iluminación, de generación 202 de las imágenes IM_{0x} , luego de autofocus 203, son idénticas a las que se describen en la figura 2.

15 Al cabo de la etapa de autofocus 203, una primera prueba 244 se efectúa para decidir si una combinación no coherente debe efectuarse en las imágenes IM_{0x} . Si se decide una combinación de este tipo, entonces una etapa 242 de combinación no coherente se ejecuta y la o las imágenes producidas se transmiten en salida 205. Si no, una prueba 243 se ejecuta para determinar si la resolución R_0 de las imágenes IM_{0x} es suficiente con relación a la resolución R_{fin} deseada. Si la resolución R_0 resulta lo suficientemente fina, las imágenes IM_{0x} se transmiten en salida 205. Si no, de manera análoga al procedimiento de la figura 2a, unas etapas 241 de combinación coherente se ejecutan por tanto reiteradamente N veces, hasta que la resolución R_N sea suficiente o que una sola imagen se haya producido al cabo de la última combinación. Sin embargo, a diferencia del procedimiento de la figura 2b, tras cada iteración, la primera prueba 244 se efectúa para determinar si se debe efectuar una combinación no coherente de las imágenes.

25 De este modo, gracias al procedimiento de la figura 2c, es posible producir imágenes que cumplen un compromiso entre, por una parte, su finura de resolución y por otra parte, su ruido radiométrico y/o su cobertura espacial.

La figura 3, un esquema que ilustra el procedimiento de construcción de imagen SAR de la figura 2c.

30 Durante la primera etapa 201 del procedimiento (figura 2c), el eje 310 temporal se trocea de modo que el periodo T_e de iluminación completo se recorte en $2k-1$ subperíodos P_x , variando x de 1 a $2k-1$. En el ejemplo, dos subperíodos sucesivos P_x y P_{x+1} se solapan a la mitad y todos los subperíodos P_x tienen la misma duración T_e/k . Según otra implementación del procedimiento según la invención, los subperíodos P_x de iluminación no tienen todos la misma duración y/o las duraciones de solapamiento entre dos subperíodos P_x y P_{x+1} sucesivos varían.

35 A continuación, para cada subperíodo P_x , se forma una imagen IM_{0x} de resolución R_0 transversal (segunda etapa 202, figura 2c), corrigiéndose a continuación la imagen IM_{0x} de los defectos de enfoque (tercera etapa 203, figura 2c). A continuación, al cabo de las tres etapas 201, 202, 203 anteriores, se efectúan una o varias combinaciones 204 de imágenes. En el ejemplo de la figura 3, se ejecutan dos etapas 301, 302 de combinación coherente (referencia 241 en figura 2c) seguida de una etapa 303 de combinación no coherente (referencia 242 en figura 2c).

40 A lo largo de la primera etapa 301 de combinación coherente del ejemplo, se eligen unos conjuntos 311 de tres imágenes y se combinan las imágenes de dichos conjuntos 311, combinándose al menos una vez cada una de las $2k-1$ imágenes IM_{0x} , procedente de un subperíodo P_x de iluminación. De este modo, en el ejemplo, las imágenes de los conjuntos 311 siguientes se combinan: $\{IM_{01}, IM_{02}, IM_{03}\}$, $\{IM_{03}, IM_{04}, IM_{05}\}$... $\{IM_{0i-1}, IM_{0i}, IM_{0i+1}\}$, $\{IM_{0i+1}, IM_{0j+2}, IM_{0i+3}\}$... $\{IM_{02k-3}, IM_{02k-2}, IM_{02k-1}\}$. En el ejemplo, como los subperíodos P_x se solapan a la mitad, cuando se han combinado todas las imágenes IM_{0i} , se generan $k-1$ nuevas imágenes IM_{1x} Distancia-Doppler, asociándose cada una a una duración $2.T_e/k$ de iluminación doblada con respecto a la duración de iluminación de las imágenes IM_{0x} iniciales. Estas nuevas imágenes IM_{1x} tienen por tanto una resolución R_1 transversal sustancialmente dos veces más fina que R_0 .

45 A continuación, en el ejemplo de la figura 3, se reitera una segunda etapa 302 de combinación coherente combinando las imágenes IM_{1x} de resolución R_1 transversal dos veces más fina que R_0 . Las imágenes IM_{1x} se agrupan en $(k-1)/2$ conjuntos 312 luego, se combinan las imágenes que pertenecen a cada uno de estos conjuntos 312. Las $(k-1)/2$ imágenes IM_{2x} obtenidas tienen por tanto una resolución R_2 sustancialmente cuadruplicada con respecto a la de las imágenes IM_{0x} iniciales.

Por último, la etapa 303 de combinación no coherente combina todas las imágenes IM_{2x} para formar una imagen IM_{final} asociada al período T_e de iluminación completo. Esta última imagen IM_{final} tiene una resolución igual a R_2 y se beneficia de una reducción de su ruido radiométrico y/o de una cobertura ampliada.

55 A su vez, para obtener imágenes de radar explotables más temprano y/o por motivos de optimización del uso de los recursos de tratamiento usados para ejecutar las etapas 301, 302 de combinación coherente, algunos tratamientos

pueden efectuarse en paralelo. Asimismo, las etapas del procedimiento presentado en figura 2 no se ejecutan necesariamente de manera meramente secuencial. En efecto, retomando el ejemplo de la figura 3, una vez que al menos tres imágenes IM_{0_1} , IM_{0_2} , IM_{0_3} se han formado al cabo de la segunda etapa 202 del procedimiento de la figura 2, y corregido durante la tercera etapa 203 de autofocus, estas imágenes IM_{0_1} , IM_{0_2} , IM_{0_3} pueden combinarse durante la cuarta etapa 204 de combinación. Simultáneamente a la combinación de estas tres imágenes, se adquieren (segunda etapa 202) y se corrigen (tercera etapa 203) otras imágenes IM_{0_x} , $x > 3$. De este modo, unas imágenes de resolución intermedia pueden producirse sin esperar a que haya transcurrido el tiempo T_e de iluminación completo.

La figura 4 presenta un sinóptico que precisa las etapas que hay que ejecutar para la combinación 241 coherente de las imágenes en un procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención.

Durante una primera etapa 401, varias imágenes sucesivas se eligen entre las $2k-1$ imágenes IM_{0_x} proporcionadas en entrada 241a. Por ejemplo, se eligen tres imágenes $IM_{0_{i-1}}$, IM_{0_i} e $IM_{0_{i+1}}$ procedentes respectivamente de tres subperíodos P_{i-1} , P_i , y P_{i+1} sucesivos, $1 < i < 2k-1$. Los subperíodos P_{i-1} y P_{i+1} , que corresponden respectivamente a la primera $IM_{0_{i-1}}$ y a la tercera imagen $IM_{0_{i+1}}$, están separados, y el subperíodo P_i , que corresponde a la imagen IM_{0_i} central solapa de manera temporal la mitad de cada uno de los otros dos subperíodos P_{i-1} y P_{i+1} .

Durante una segunda etapa 402, una imagen IM_{ref} de referencia se elige entre las imágenes seleccionadas durante la primera etapa 401. En el ejemplo, la imagen de referencia elegida es la imagen IM_{0_i} central.

Durante una tercera etapa 403, las imágenes que no son la imagen IM_{ref} de referencia - en el ejemplo, las imágenes $IM_{0_{i-1}}$, e $IM_{0_{i+1}}$, - se reajustan de manera temporal con respecto a la imagen IM_{ref} de referencia - en el ejemplo, con respecto a IM_{0_i} -. En efecto, estando inicialmente cada una de las imágenes IM_{0_x} referenciada con respecto a un instante t_x fijado de su subperíodo P_x de iluminación, las referencias temporales de estas imágenes deben modificarse, de modo que dichas imágenes estén todas referenciadas con respecto a un instante común. Este reajuste temporal se hace en dos tiempos 431, 432. En un primer tiempo 431, las imágenes se reajustan en posición luego en un segundo tiempo 432, las imágenes se reajustan en fase. Esta tercera etapa 403 se detalla más adelante, con relación a las figuras 5, 6, 7a, 7b, et 7c.

En el ejemplo, las dos imágenes $IM_{0_{i-1}}$, e $IM_{0_{i+1}}$ están reajustadas con respecto al instante t_i de referencia de la imagen IM_{0_i} central, no reajustándose, como imagen de referencia, esta última imagen. Según otro modo de realización, no se elige ninguna imagen IM_{ref} de referencia y todas las imágenes elegidas durante la primera etapa 401 se reajustan con respecto a un instante diferente de la referencia temporal de una de las imágenes que hay que combinar. Ventajosamente, el instante t_{ref} de referencia común se elige para ser relativamente central con respecto al conjunto de los subperíodos P_x que hay que combinar, con el fin de disminuir la desviación máxima entre t_{ref} y t_x .

Durante una cuarta etapa 404, las imágenes que no son la imagen IM_{ref} de referencia se modifican para poder ser superponibles a la imagen IM_{ref} de referencia. En efecto, al cabo de la tercera etapa 403, las imágenes IM_{0_x} no son directamente superponibles porque subsiste un desfase residual según el eje 106 Doppler y, en menor medida, según el eje 108 Distancia entre la posición de los reflectores proporcionada por la imagen IM_{ref} de referencia y la posición de los reflectores leída en una imagen diferente de la imagen de referencia. La puesta en superposición de las imágenes se efectúa entonces en dos tiempos 441, 442. En un primer tiempo 441, se valora un desfase residual en posición; en un segundo tiempo 442, se corrige este desfase residual y se aplica una función de desponderación. Esta cuarta etapa 404 se detalla más adelante, con relación a la figura 8.

Durante una quinta etapa 405, primero se anulan las últimas discontinuidades residuales en fase que subsisten de un subperíodo P_x de iluminación a la siguiente P_{x+1} , luego las señales correspondientes a las imágenes enfocadas y superponibles, procedentes de la cuarta etapa 404, se ensambлан en el ámbito temporal para formar una nueva señal definida en un subperíodo de iluminación igual a la duración de la concatenación de los subperíodos de las imágenes que hay que combinar. Esta quinta etapa 405 se detalla más adelante, con relación a la figura 9.

Durante una sexta etapa 406, una transformada de Fourier según el eje temporal se aplica sobre la nueva señal obtenida durante la quinta etapa 405, con el fin de producir la imagen resultante de la combinación coherente de las imágenes IM_{0_x} iniciales, asociándose esta imagen resultante a una duración de subiluminación ampliada.

De este modo, en el ejemplo, al cabo de estas seis etapas 401, 402, 403, 404, 405, 406, la combinación de las tres imágenes $IM_{0_{i-1}}$, IM_{0_i} , e $IM_{0_{i+1}}$ genera una nueva imagen IM_{1_i} Distancia-Doppler de resolución R_1 , sustancialmente dos veces más fina que la resolución R_0 de las imágenes IM_{0_x} iniciales, estando la imagen IM_{1_i} referenciada de manera temporal con respecto al instante central del subperíodo de iluminación formada por la concatenación de los subperíodos P_{i-1} , P_i , y P_{i+1} de iluminación iniciales.

Aunque el ejemplo de implementación ahora ilustrado esté relacionado con un modo de adquisición de radar de tipo spot, el procedimiento puede aplicarse en el marco de otros tipos de adquisición. Asimismo, cuando el procedimiento según la invención se implementa en un radar que funciona en modo desfilando - designándose a menudo este modo por el término anglosajón "StripSAR" -, el beneficio en resolución debido a la ejecución de una iteración del procedimiento es inferior o igual a dos, mientras que la cobertura espacial obtenida es mayor que en modo spot. En efecto, en modo desfilando, en la duración de un subperíodo P_{i+1} de iluminación que sucede a un primer subperíodo

P_i de iluminación, la huella del haz de antena se ha desplazado, disminuyendo la superficie de la zona común a los dos subperíodos P_i y P_{i+1} , pero aumentando la superficie de la zona cubierta durante al menos uno de los subperíodos P_i y P_{i+1} . Esta observación se aplica a fortiori a la implementación del procedimiento en un radar que funciona en modo de barrido - o, según el término anglosajón, "ScanSAR".

5 Tras la combinación de las imágenes $IM_{0_{i-1}}$, IM_{0_i} , e $IM_{0_{i+1}}$, una prueba 409 se ejecuta para determinar si al menos una imagen entre las $2k-1$ imágenes IM_{0_x} aún no se ha combinado con otras imágenes. Si queda al menos una imagen IM_{0_x} que hay que combinar, entonces el procedimiento vuelve a la primera etapa 401 de elección de las imágenes para combinar otras imágenes IM_{0_x} entre sí. De este modo, unas combinaciones se efectúan en unos conjuntos de imágenes diferentes hasta que se hayan combinado al menos una vez todas las imágenes IM_{0_x} procedentes de los subperíodos P_x de iluminación. Según otra implementación del procedimiento, solo se usa una porción del tiempo T_e de iluminación completo; desde entonces, la prueba 409 mencionada anteriormente no trata sobre el uso de todas las $2k-1$ imágenes IM_{0_x} , sino que verifica que se hayan combinado al menos una vez todas las imágenes IM_{0_x} correspondientes a dicha porción temporal.

15 Cuando la prueba 409 indica que todas las imágenes IM_{0_x} se han usado para al menos una combinación, las imágenes IM_{1_x} generadas por las combinaciones se transmiten en salida 241b.

Para comprender mejor la etapa 241 de combinación coherente de imágenes, las etapas presentadas en la figura 4 se detallan con relación a las figuras 5, 6, 7a, 7b, 7c, 8, 9, y 10.

20 La figura 5 presenta un ejemplo de tres imágenes $IM_{0_{i-1}}$, IM_{0_i} , e $IM_{0_{i+1}}$ que hay que combinar, proporcionándose estas imágenes, durante la combinación 241 coherente (figura 4), en salida de la etapa 401 de elección de las imágenes entre las $2k-1$ imágenes iniciales. Cada imagen IM_{0_x} , $i-1 \leq x \leq i+1$ presenta las características siguientes:

- la imagen IM_{0_x} está enfocada, en otros términos, las respuestas impulsionales son canónicas en los dos ejes (gracias a la etapa 203 de autofoco, figura 2);
- la imagen IM_{0_x} está referenciada, en el ejemplo, de manera temporal con respecto al centro del subperíodo P_x de iluminación correspondiente;
- la imagen IM_{0_x} se centra en el punto de la zona contemplada por el haz de antena en el instante central del subperíodo P_x .

30 La tercera etapa 403 (figura 4) del procedimiento de combinación coherente de imágenes comprende, en un primer tiempo 431, un reajuste en posición. Al considerar el instante t_i de referencia de la imagen IM_{0_i} central como el nuevo instante de referencia de las tres imágenes que hay que combinar, las imágenes $IM_{0_{i-1}}$, $IM_{0_{i+1}}$ son, en el ejemplo, las únicas afectadas por la operación de reajuste, considerándose la imagen IM_{0_i} como una imagen IM_{ref} de referencia.

35 Sea una imagen IM_{0_x} , $x \neq i$ que hay que reajustar. La zona 502 convertida en imagen en la imagen IM_{0_x} ocupa en el instante t_i una franja Doppler y una franja Distancia anotadas respectivamente $|f_{min,x}; f_{max,x}|$ $|D_{min,x}; D_{max,x}|$. Esta franja Doppler-Distancia se malla primero con una rejilla idéntica a la de la imagen IM_{0_i} , es decir retomando el mismo muestreo según el eje Doppler y el mismo muestreo según el eje Distancia. En esta nueva rejilla Doppler-Distancia, cada par $(f_M(t_i), D_M(t_i))$ caracteriza en el instante t_i el Doppler y la Distancia de un reflector M convertido en imagen durante el subperíodo P_x de iluminación asociado a la imagen IM_{0_x} . El reajuste en posición de la imagen IM_{0_x} se efectúa rellenando esta rejilla (referenciada de manera temporal con respecto a t_i) asignando a cada uno de sus píxeles un valor extraído en la imagen IM_{0_x} , referenciado con respecto a un instante t_x . De este modo, para cada par $(f_M(t_i), D_M(t_i))$ que caracteriza en el instante t_i el Doppler y la Distancia de un reflector M convertido en imagen durante el subperíodo P_x de iluminación, se ejecutan las etapas siguientes:

- valorar en el instante t_x el Doppler $\hat{f}_M(t_x)$ y la distancia $\hat{D}_M(t_x)$ del reflector M en función de:
 - el conocimiento del Doppler y la distancia del reflector M en el instante t_i ;
 - la medición de la trayectoria del radar entre los instantes t_i y t_x
- extraer en la imagen IM_{0_x} el valor leído en esta posición valorada $(\hat{f}_M(t_x), \hat{D}_M(t_x))$;
- asignar este valor al píxel asociado al par $(f_M(t_i), D_M(t_i))$ en la nueva rejilla.

La figura 6 muestra las tres imágenes de la figura 5 modificadas al cabo de la etapa 431 de reajuste en posición.

50 En el caso ideal de un conocimiento perfecto del movimiento relativo radar-reflectores, la operación de reajuste en posición proporcionaría en salida tres imágenes Distancia-Doppler en las que los reflectores convertidos en imágenes comúnmente durante los tres subperíodos P_{i-1} , P_i , y P_{i+1} de iluminación ocuparían posiciones idénticas. Ahora bien, la operación de reajuste valora para cada posición de reflector una migración en distancia y una migración en Doppler entre dos instantes t_i y t_x basándose en una medición de la trayectoria del radar, que es por naturaleza imperfecta.

Por consiguiente, las tres imágenes 601, 602, 603 Distancia-Doppler de la figura 6 aun no son perfectamente "superponibles" a esta altura: entre una imagen IM_{0_x} , $x \neq i$, y la imagen IM_{0_i} , subsiste un desfase 610 residual común a todos los puntos, según el eje 106 Doppler y en menor medida según el eje 108 Distancia.

5 Según un modo de realización, un cálculo aproximativo de migración en Distancia y de migración en Doppler se efectúa para los pares $(f_M(t_i), D_M(t_i))$ que pertenecen a la rejilla asociada al subperíodo P_x de iluminación. En efecto, estas migraciones varían casi de manera lineal en función de la posición de los puntos en Distancia y en Doppler. Se puede limitar de este modo a calcular de modo exacto estas migraciones para un número restringido de puntos espaciados en la zona convertida en imagen, luego contentarse con interpolar de manera lineal para los otros puntos estos resultados exactos.

10 A su vez, en la nueva rejilla asociada a un subperíodo de iluminación P_r , el valor asignado al píxel asociado al par $(f_M(t_i), D_M(t_i))$ es el valor leído en la posición $(\hat{f}_M(t_x), \hat{D}_M(t_x))$ en la imagen IM_{0_x} . Ahora bien esta última posición se distribuye generalmente en varios píxeles de la imagen IM_{0_x} . Una interpolación bidimensional es por tanto necesaria.

15 Con el fin de asegurar el enfoque de cada uno de los puntos convertidos en imágenes en un subperíodo de iluminación sustancialmente doblado con respecto a la duración de los subperíodos P_{i-1} , P_i , P_{i+1} iniciales, la señal asociada a un reflector dado debe conectarse en fase de un subperíodo de iluminación al otro. La tercera etapa 403 comprende, en un segundo tiempo, un reajuste en fase que contempla suprimir precisamente, para cada reflector, los saltos de fase residuales que, a esta altura del tratamiento, subsisten de un subperíodo de iluminación a otro.

20 Las figuras 7a, 7b y 7c ilustran esta etapa de reajuste en fase 432 de las imágenes 601, 602, 603 de la figura 6. Como recordatorio, el enfoque con respecto al instante t_i consiste, para un reflector M dado, en anular la componente no lineal de fase $\Phi_{M, t_i}(t)$ en la señal retrodifundida por este reflector M. Se conserva de este modo solo la componente lineal extraída en el instante t_i , componente lineal cuya pendiente es proporcional al Doppler en el instante t_i , anotado $f_M(t_i)$. La fase de la señal a lo largo del tiempo se expresa como sigue:

$$\frac{4\pi}{\lambda} D_M(t) = \frac{4\pi}{\lambda} D_M(t_i) - 2\pi \times f_M(t_i) \times (t - t_i) + \phi_{M, t_i}(t)$$

25 donde el término $\frac{4\pi}{\lambda} D_M(t)$ representa la fase de la señal a lo largo del tiempo; el término $\frac{4\pi}{\lambda} D_M(t_i)$ representa la fase de la señal en el instante t_i ; el término $2\pi f_M(t_i) \times (t - t_i)$ permite el posicionamiento en el eje 106 Doppler; y $\phi_{M, t_i}(t)$ es el término de fase de orden superior o igual a dos; es este último término el que se busca anular para asegurar el enfoque.

30 Este término de fase $\Phi_{M, t_i}(t)$ antes de la corrección se representa en un gráfico en la figura 7a, $\Phi_{M, t_i}(t)$ en ordenada en el gráfico, correspondiendo la abscisa al tiempo 701. Debe anularse para efectuar una combinación 241 coherente de las imágenes.

35 En un primer tiempo, se enfoca cada imagen IM_{0_x} , $i-1 \leq x \leq i+1$, en otros términos, el término de fase de orden superior o igual a dos se compensa en cada uno de los subperíodos P_{i-1} , P_i , P_{i+1} de iluminación. Sin embargo, el posicionamiento del reflector M en el eje Doppler permanece diferente en las tres imágenes $IM_{0_{i-1}}$, IM_{0_i} , $IM_{0_{i+1}}$, como lo muestra la figura 7b, que ilustra la evolución del residuo de fase 711, 712, 713 de cada subperíodo P_{i-1} , P_i , P_{i+1} de iluminación en función del tiempo 701 tras el enfoque citado anteriormente. Al cabo de este enfoque, el residuo de fase asociado a un subperíodo P_x de iluminación es igual a:

$$\phi_{M, t_i}(t_x) - 2\pi \times [f_M(t_x) - f_M(t_i)] \times (t - t_x)$$

40 En un segundo tiempo, para anular la componente lineal del residuo de fase, el reflector M se reajusta con respecto a una referencia de tiempo t_i común.

45 Sin embargo, tras este reajuste, subsiste un residuo de fase constante, diferente de un subperíodo de iluminación a otro, como lo ilustra la figura 7c, que muestra la evolución del residuo de fase 721, 722, 723 de cada subperíodo P_{i-1} , P_i , P_{i+1} de iluminación en función del tiempo tras el reajuste en posición citado anteriormente. Al cabo de este reajuste en posición, el residuo de fase asociado a un subperíodo P_x de iluminación es igual a $\Phi_{M, t_i}(t_x)$. Este último término residual debe anularse.

También, en un tercer tiempo, para cada imagen IM_{0_x} diferente de IM_{0_i} - en el ejemplo, $IM_{0_{i-1}}$ e $IM_{0_{i+1}}$ -, se efectúan las operaciones siguientes: para cada píxel G de la imagen IM_{0_x} :

- valorar el término residual de fase $\hat{\phi}_{M, t_i}(t_x)$ en función de:

- el conocimiento del par $(f_M(t_i), D_M(t_i))$ asociado a la posición del píxel considerado;
- la medición de la trayectoria del radar entre los instantes t_i y t_x

- multiplicar el valor asignado al píxel G por el término $\exp(-j \times \hat{\phi}_{M,t_i}(t_x))$

5 Al igual que para la etapa 431 de reajuste en posición (figura 4), por motivos de economía de recursos de cálculo, no es indispensable efectuar un cálculo exacto del término residual de fase para cada píxel. Estos resultados pueden interpolarse de manera lineal a partir de un número restringido de cálculos exactos hechos para puntos regularmente espaciados de la zona convertida en imagen.

10 Además, ya que la valoración del término residual de fase se basa en una medición imperfecta de la trayectoria del radar, subsiste, al cabo de esta etapa 432 de reajuste en fase, un término residual parásito de fase no compensado. Sin embargo, este último término parásito ya puede considerarse como idéntico para todos los reflectores.

La cuarta etapa 404 (figura 4) del procedimiento de combinación coherente de las imágenes es una puesta en superposición de las imágenes que hay que combinar. Tras las correcciones aplicadas durante la tercera etapa 403, el desfase residual en posición puede considerarse, al cabo de esta tercera etapa 403, como idéntico para todos los reflectores convertidos en imágenes.

15 En un primer tiempo 441, para cada una de las imágenes IM_{0_x} tales que $x \neq i$, este desfase residual en posición según el eje 106 Doppler y el eje 108 Distancia, anotado $(\delta f_{x/i}, \delta D_{x/i})$ a continuación, se valora con respecto a la imagen IM_{0_i} de referencia. Para valorar $\delta f_{x/i}, \delta D_{x/i}$, se efectúa primero una correlación entre la imagen IM_{0_i} , - expresada en módulo porque la información de fase puede sesgar la correlación - y la imagen IM_{0_x} , obtenida al cabo de la tercera etapa 403 de la combinación coherente de imágenes (figura 4) y expresada igualmente en módulo.

20 Los dos parámetros $\delta f_{x/i}$ y $\delta D_{x/i}$ pueden valorarse directamente efectuando una correlación bidimensional. Sin embargo, el conocimiento del único parámetro $\delta f_{x/i}$ permite deducir el valor de $\delta D_{x/i}$. Desde entonces es posible, para limitar la carga de cálculo, contentarse con una correlación monodimensional según el eje 106 Doppler con el fin de valorar únicamente $\delta f_{x/i}$. En este caso, previamente es necesario promediar en potencia las casillas distancia contiguas con el fin de degradar la resolución según el eje 108 Distancia.

25 El desfase $(\delta f_{x/i}, \delta D_{x/i})$ se calcula por tanto valorando la posición del pico de correlación entre dos imágenes IM_{0_i} e IM_{0_x} , $x \neq i$. Esta valoración puede, por ejemplo, efectuarse de la manera siguiente:

- calcular, mediante la transformada de Fourier, el espectro asociado con la imagen IM_{0_i} en módulo;
- calcular, mediante la transformada de Fourier, el espectro asociado con la imagen IM_{0_x} en módulo;
- 30 ■ multiplicar el espectro de IM_{0_x} por el conjugado del espectro de IM_{0_i} ;
- aplicar una transformada de Fourier inversa en el resultado obtenido en la etapa anterior, con el fin de obtener la función de intercorrelación de las dos imágenes IM_{0_x}, IM_{0_i} ;
- localizar la posición del pico de correlación buscando el valor máximo de la función de intercorrelación;
- 35 ■ eventualmente, afinar la posición del pico de correlación por interpolación local para obtener una precisión mejor que el tamaño del píxel.

Al cabo de la etapa 431 de reajuste en posición (figura 4), las imágenes IM_{0_x} , $x \neq i$ son ponderadas, a diferencia de la imagen IM_{0_i} de referencia que no pasa por la etapa 431 de reajuste en posición. Por motivos de homogeneidad, es preferible efectuar las correlaciones considerando una imagen IM_{0_i} de referencia ponderada.

40 En un segundo tiempo 442, una vez valorado, el desfase residual en posición se corrige para cada una de las imágenes IM_{0_x} tales que $x \neq i$. Por ejemplo, esta etapa 442 de corrección consta de las subetapas siguientes:

- corregir el desfase en Distancia, es decir aplicar a toda la imagen IM_{0_x} un desfase igual a $-\delta D_{x/i}$ según el eje Distancia, como sigue:
 - aplicar una transformada de Fourier según el eje Distancia, en otros términos, pasar al ámbito llamado "Frecuencia rápida";
 - 45 ○ multiplicar por una señal cuya fase varía de manera lineal en función de la "Frecuencia rápida", con una pendiente proporcional a $\delta D_{x/i}$;
 - aplicar una transformada de Fourier inversa según el eje " Frecuencia rápida" para volver al ámbito Distancia;
- 50 ■ corregir el desfase en Doppler, es decir aplicar a toda la imagen IM_{0_x} un desfase igual a $-\delta f_{x/i}$ según el eje Doppler, como sigue:
 - aplicar una transformada de Fourier inversa según el eje Doppler, en otros términos, pasar al ámbito temporal;
 - multiplicar la señal temporal por una señal cuya fase varía de manera lineal en función del tiempo, con una pendiente proporcional a $\delta D_{x/i}$;

- aplicar una transformada de Fourier según el eje temporal para volver al ámbito Doppler.

La última operación de vuelta al ámbito Doppler por aplicación de una transformada de Fourier es superflua en el caso de una recombinación 241 coherente porque la etapa 405 de ensamblaje de las señales, que sigue a la etapa 404 de puesta en superposición de las imágenes, se efectúa en el ámbito temporal.

- 5 Paralelamente a la etapa 442 de corrección de los desfases residuales en posición, se pone en marcha una operación llamada de "desponderación" de las señales. En efecto, a esta altura del tratamiento, las imágenes IM_{0x} tales que $x \neq i$, son ponderadas. En otros términos, en el ámbito [tiempo-Frecuencia rápida], una señal asociada a un reflector puntual perfecto ya no presenta la misma variación de amplitud que inicialmente en la imagen de entrada no ponderada (en el caso de un modo radar Spot, esta amplitud inicial es constante).

- 10 Las causas de la presencia de esta función de ponderación son en concreto las siguientes:

- en concreto, existe un fenómeno de "rotación" de los lóbulos secundarios en Distancia y en Doppler, debido a que el eje radarreflector gira entre el instante t_x y el instante t ;
- durante la etapa 432 de reajuste en fase, las correcciones de fase aplicadas sobre la imagen IM_{0x} no desfasan de manera idéntica el lóbulo principal y los lóbulos secundarios asociado a un mismo reflector (ya que la fase correctora aplicada varía casi de manera lineal en función del Doppler y de la Distancia).

Asimismo, con el fin de tomar en cuenta el impacto de los fenómenos mencionados anteriormente, la función de ponderación se calcula aplicando las operaciones de reajuste a una señal sintética "testigo" que reproduce el comportamiento de un reflector puntual perfecto.

- 20 La etapa de desponderación permite anular el efecto de la función de ponderación calculada de este modo. Esta etapa de desponderación se integra en la corrección de los desfases residuales en posición 442. Se efectúa primero según el eje "Frecuencia rápida" dividiendo la señal por la función de ponderación calculada, luego de la misma manera según el eje temporal.

- 25 Al cabo de la desponderación, en el ámbito [tiempo-Frecuencia rápida], la señal asociada a un reflector puntual perfecto que pertenece a la zona convertida en imagen ya presenta una variación de amplitud casi idéntica a la que poseía inicialmente en la imagen de entrada no ponderada. Esta variación de amplitud es nula en el caso de un modo radar Spot.

La figura 8 presenta las tres imágenes de la figura 6 al cabo de la ejecución de una etapa 404 de superposición de las imágenes. Se dispone, por tanto, a esta altura del tratamiento, de tres imágenes 801, 802, 803 enfocadas en el ámbito distancia Distancia-Doppler que presentan las características siguientes:

- 30 ■ estas imágenes 801, 802, 803 están referenciadas de manera temporal con respecto a un mismo instante, que, en el ejemplo, es el instante t_i central del nuevo subperíodo de iluminación de duración doble obtenida concatenando los tres subperíodos P_{i-1} , P_i , P_{i+1} de iluminación iniciales;
- 35 ■ estas imágenes 801, 802, 803 son superponibles, por consiguiente:
- un mismo reflector convertido en imagen durante los tres subperíodos P_{i-1} , P_i , P_{i+1} de iluminación se posiciona de manera idéntica en las tres imágenes (si solo se considera el lóbulo principal asociado al reflector);
 - la señal procedente de un mismo reflector no presenta una discontinuidad en amplitud de un subperíodo de iluminación a otro; si una discontinuidad de fase subsiste, se puede considerar como común al conjunto de los reflectores convertidos en imagen.

- 40 Las imágenes 801, 802, 803 superponibles se ensamblan a continuación durante la quinta etapa 405 (figura 4) de la combinación coherente de imágenes.

- 45 Las operaciones anteriores de reajuste en posición 431 y de reajuste en fase 432 explotan una medición de la trayectoria del radar por naturaleza imperfecta; este error en el conocimiento del movimiento relativo Radar-reflectores durante la iluminación es la fuente de errores residuales en las imágenes del ámbito Distancia-Doppler reajustadas de este modo.

- No obstante, por una parte, durante la cuarta etapa 404, los desfases residuales en posición se han valorado mediante correlaciones luego corregido con el fin de obtener imágenes superponibles; por otra parte, la ejecución de la etapa 431 de reajuste en fase ha permitido garantizar que la discontinuidad residual en fase de un subperíodo de iluminación al otro ya podía considerarse como idéntica para todos los reflectores convertidos en imágenes. Para un subperíodo P_x , $x \neq i$ de iluminación, este desfase residual común a todos los reflectores se anota $\delta\Phi_{xi}$.

Este término de fase parásito $\delta\Phi_{xi}$ puede valorarse fácilmente estudiando en el ámbito temporal las señales procedentes de las dos imágenes en el ámbito Distancia-Doppler enfocadas superponibles asociadas a los subperíodos P_i y P_x de iluminación. En efecto, en la porción temporal común a estos dos subperíodos P_i y P_x de iluminación, la señal procedente de un mismo reflector es idéntica con un desfase aproximativo. Este

desfasamiento es justamente igual a $\delta\Phi_{x/i}$.

Por consiguiente, $\delta\Phi_{x/i}$ puede calcularse por ejemplo de la manera siguiente:

- 5 ■ para el subperíodo P_x , extraer la porción temporal común con el subperíodo P_i , en la señal temporal asociada a la imagen IM_{0x} enfocada superponible en el ámbito [Distancia-Doppler]. Esta extracción, anotada E_x es un cuadro 2D en el ámbito [Tiempo-Distancia];
- para el subperíodo P_i de referencia, extraer la porción temporal común con el subperíodo P_x , en la señal temporal asociada a la imagen IM_{0i} enfocada superponible en el ámbito [Distancia-Doppler]. Esta extracción se anota E_i ;
- 10 ■ multiplicar término a término E_x y el conjugado de E_i . El resultado se anota $E_{x/i}$;
- $\delta\Phi_{x/i}$ es igual a la fase del número complejo obtenido sumando todos los términos de $E_{x/i}$.

Para el subperíodo P_x de iluminación, la corrección del término de fase parásito $\delta\Phi_{x/i}$ consiste sencillamente en multiplicar por $\exp(-j\delta\Phi_{x/i})$ la señal temporal asociada a la imagen IM_{0x} Distancia-Doppler enfocada superponible.

15 Ya que ahora, ya no subsiste ninguna discontinuidad ni en fase ni en amplitud, las señales temporales asociados a las tres imágenes Distancia-Doppler enfocadas superponibles ahora pueden posicionarse las unas después de las otras según el eje temporal, ocupando sus franjas temporales respectivas. Con el fin de asegurar una transición progresiva de un subperíodo de iluminación a otro, esta operación de ensamblaje es ponderada, como se ilustra en la figura 9.

20 En efecto, una función de ponderación según el eje temporal se aplica a cada una de las señales temporales asociadas a los tres subperíodos P_{i-1} , P_i , P_{i+1} de iluminación. La figura 9 presenta, a título de ejemplo, la evolución de los coeficientes 921, 922, 923 de ponderación, aplicándose cada uno de dichos coeficientes sobre una señal relacionada con un subperíodo P_x . En el ejemplo, el primer coeficiente 921 se aplica a la señal del subperíodo P_{i-1} , el segundo coeficiente 922 se aplica a la señal del subperíodo P_i , y el tercer coeficiente 923 se aplica a la señal del subperíodo P_{i+1} . La señal ensamblada, definida en una duración doble de la duración inicial de un subperíodo P_x de iluminación, se calcula de la manera siguiente:

- 25 ■ en las porciones 901, 902 temporales comunes a dos subperíodos P_x , P_{x+1} de iluminación consecutivas, la señal resultado es igual a la suma de las dos señales ponderadas asociadas a estos dos subperíodos P_x , P_{x+1} de iluminación;
- en las porciones 911, 912 temporales que pertenecen a un único subperíodo P_x de iluminación, la señal resultado es una copia de la señal temporal asociada a este subperíodo P_x de iluminación.

30 La sexta etapa 406 del procedimiento de combinación coherente de imágenes (figura 4) permite generar la imagen Distancia-Doppler que resulta de la combinación de las imágenes IM_{0x} iniciales. Una transformada de Fourier según el eje temporal se aplica en la señal ensamblada, tomando en cuenta una duración de análisis igual a la duración de los subperíodos concatenados, que, en el ejemplo es igual a dos veces la duración de un subperíodo P_x de iluminación inicial. La imagen IM_{1i} Distancia-Doppler generada de este modo presenta las características siguientes:

- 35 ■ el tamaño de la casilla Doppler es ahora dos veces más fino que en las imágenes IM_{0x} iniciales;
- esta imagen IM_{1i} está referenciada con respecto al centro del nuevo subperíodo de iluminación de duración doble;
- la imagen IM_{1i} es no ponderada;
- 40 ■ la imagen IM_{1i} puede presentar un desenfoque residual, siendo sin embargo este mínimo, gracias a las diferentes operaciones de reajuste ya efectuadas en el objetivo de superponer "de manera apropiada" las tres imágenes IM_{0i-1} , IM_{0i} , IM_{0i+1} y anular las discontinuidades de fase y de amplitud entre las señales temporales asociadas a los diferentes subperíodos P_x de iluminaciones.

45 La figura 11 presenta un sinóptico que detalla las etapas que hay que ejecutar para la combinación 242 no coherente de las imágenes (figuras 2b, 2c) en un procedimiento de construcción de imagen SAR según la invención.

50 A diferencia de las etapas 241 de combinación coherente de las imágenes, la combinación no coherente no permite afinar la resolución y conserva al final en la imagen de salida la resolución inicial de las imágenes Distancia-Doppler de entrada. En cambio, el recorte en subperíodos 201 de iluminación permite realizar una operación de "multivistas" acimut con el fin de reducir el ruido radiométrico de la imagen final y/o de ampliar el tamaño de la zona convertida en imagen. La etapa 242 de recombinación no-coherente comprende las subetapas siguientes:

- 55 ■ elegir las imágenes que hay que combinar, 401;
- elegir una imagen 402 de referencia;
- reajustar de manera temporal las imágenes elegidas anteriormente, etapa referenciada 1103;
- poner en superposición las imágenes reajustadas anteriormente, 404;
- poner en conformidad las imágenes Distancia-Doppler enfocadas superponibles, procedentes de la etapa 1103 anterior, en un punto de referencia ortonormalizado común, $\mathfrak{R}(\vec{0}, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, cuyo origen O corresponde por ejemplo

al centro de la zona convertida en imagen durante la adquisición completa, y cuyo eje \vec{z} es colineal a la vertical en el punto O, etapa referenciada 1105;

- en el caso de un modo radar desfilando o de barrido, ponderar espacialmente las imágenes conformes superponibles para tomar en cuenta el desplazamiento de la huella en el suelo del haz radar durante la iluminación (esta operación de ponderación espacial es inútil en el caso de un modo radar Spot), etapa no representada en la figura 11;
- sumar en potencia las imágenes conformes superponibles, etapa referenciada 1106 en la figura 11.

La primera etapa 401 de elección de las imágenes que hay que combinar, la segunda etapa 402 de elección de una imagen 402 de referencia, y la cuarta etapa 404 de puesta en superposición de las imágenes son, en el ejemplo, idénticas a las ejecutadas durante una combinación 241 coherente (figuras 2a, 2c, 4) de las imágenes.

La tercera etapa 1103 de la combinación 242 no coherente difiere de la tercera etapa 403 (figura 4) de la combinación coherente de imágenes 241 porque la etapa 432 de reajuste en fase no es necesaria en el caso de una combinación 242 no coherente.

A su vez, las operaciones de desponderación efectuadas durante la corrección del desfase en posición 442 durante la cuarta etapa 404 (figura 4) de la combinación 241 coherente de imágenes son facultativas en el caso de una combinación 242 no coherente. Por consiguiente, según otra implementación del procedimiento según la invención, no se efectúa esta desponderación.

Según otro modo de implementación del procedimiento según la invención, la puesta en conformidad de las imágenes asociadas a los diferentes subperíodos de iluminación puede efectuarse directamente a partir de las imágenes IM_{0x} Distancia-Doppler iniciales (referenciadas con respecto a instantes diferentes), con la condición de tomar en cuenta los términos δf_{xi} y δD_{xi} correctivos en la propia operación de puesta en conformidad. Se ahorra de este modo la operación de corrección de los desfases residuales en posición en las imágenes Distancia-Doppler referenciadas con respecto a t_i pero no superponibles.

Además, en el caso de un modo radar Spot, se puede empezar por sumar en potencia las imágenes Distancia-Doppler enfocadas superponibles para a continuación solo poner en conformidad una imagen Distancia-Doppler multivistas. Sin embargo, en este caso, la imagen final conforme estará muy ligeramente degradada, porque la transformación de una imagen Distancia-Doppler en una imagen conforme necesita interpolar la imagen Distancia-Doppler. Ahora bien, esta interpolación será de calidad menor en una imagen Distancia-Doppler multivistas que proporciona únicamente una información en módulo (sin información de fase).

Según otro modo de implementación del procedimiento según la invención, cuando se busca una imagen final conforme ponderada, se empieza por sumar en potencia imágenes Distancia-Doppler enfocadas, superponibles y ponderadas. Se ahorra de este modo la operación de desponderación durante la corrección de los desfases residuales en posición.

El procedimiento según la invención se aplica particularmente bien a la construcción de imágenes SAR de alta resolución a partir de una aeronave provista de un radar de largo alcance configurado para iluminar una misma zona durante una larga duración. Por ejemplo, el procedimiento puede usarse ventajosamente en el marco de la supervisión de una zona de riesgo. Sin embargo, el procedimiento puede usarse para una amplia gama de modos SAR. Por ejemplo, es particularmente apropiado para los modos que constan de al menos una de las características siguientes:

- los modos SAR de largo tiempo de iluminación, para los que la calidad de medición de la trayectoria del centro de fase de la antena es insuficiente para obtener una calidad de enfoque aceptable;
- los modos SAR de alta resolución con grandes limitaciones para la obtención de imagen;
- los modos SAR para los que una imagen subresuelta se solicita antes de la elaboración de la imagen en plena resolución;
- los modos SAR multivistas, en particular cuando es imposible aumentar la banda emitida para hacer multivistas en distancia, haciendo por tanto indispensable el multivistas en acimut.

A su vez, aunque el modo presentado para la aplicación del procedimiento según la invención es el modo Spot, el procedimiento puede aplicarse igualmente a modos que ofrecen resoluciones más aproximativas, tales como los modos de tipo desfilando o de barrido, designándose más a menudo estos dos modos por los términos anglosajones respectivos "StripSAR" y "ScanSAR".

Las ventajas del procedimiento según la invención son múltiples. Primero, permite mejorar la eficacia y la robustez del tratamiento de autofocus. A diferencia de las técnicas clásicas que explotan de inmediato la totalidad de la iluminación radar, los tratamientos de autofocus se aplican a resoluciones sucesivas que se afinan progresivamente durante la ejecución del procedimiento, aplicándose los primeros tratamientos de autofocus en tiempos de iluminación cortos. De hecho, los motivos de desenfoque asociados ocupan un número restringido de casillas Doppler, lo que los hace fáciles de valorar y de corregir. Además, trabajar en tiempos de iluminación cortos permite valorar con eficacia las componentes de altas frecuencias del error de fase parásito, valorándose las componentes de menores frecuencias durante las iteraciones siguientes, que trabajan en tiempos de iluminación cada vez más largos. De este

modo, esta perspectiva “multirresoluciones”, con el aumento progresivo de los tiempos de observación, permite una valoración mucho más fina y robusta del error de fase parásito, ya que adapta gradualmente el tiempo de observación a la franja de frecuencias del error buscado.

- 5 Otra ventaja del procedimiento según la invención es que es posible combinar las imágenes procedentes de los primeros subperíodos de iluminación en cuanto que se han efectuado estos primeros subperíodos de iluminación, sin esperar la terminación del período de iluminación completo. De esta manera, unos tratamientos pueden ejecutarse paralelamente a la recolección de los datos por el radar, lo que permite optimizar en concreto el uso de los recursos de tratamiento y reducir la duración entre el fin de la adquisición y el fin del cálculo de la imagen en plena resolución. Además, si la potencia de cálculo lo permite, unas imágenes de resolución deteriorada pueden estar disponibles incluso antes del fin de la iluminación completa, de modo que una explotación anticipada de estas imágenes pueda cumplirse, particularmente en el marco de una aplicación en tiempo real. Por ejemplo, un usuario del sistema radar puede, lo antes posible, identificar una zona de interés en estas imágenes de las resoluciones degradadas, luego designar dicha zona para movilizar los recursos de tratamiento para afinar más rápidamente la resolución de la imagen en esta zona.
- 10
- 15 A su vez, el procedimiento según la invención de construcción de una imagen de radar de poco ruido radiométrico integra naturalmente la formación de imagen en modo multivistas acimut. A diferencia de un procedimiento clásico de formación de imagen en modo multivistas acimut, en el que, para integrar N vistas, es generalmente necesario construir anteriormente una imagen de resolución N veces más fina que la resolución deseada, el procedimiento según la invención permite construir una imagen N-vistas acimut sin calcular nunca una imagen sobrerresuelta de un factor N, lo que, en concreto, permite disminuir la carga de cálculo necesaria para ejecutar el procedimiento.
- 20

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de construcción de imágenes de radar enfocadas que comprende al menos las etapas siguientes:

- 5 ■ recortar el periodo de iluminación del radar en p subperiodos, solapándose de manera temporal dos subperiodos (201) sucesivos;
- 5 ■ elegir n_0 subperiodos sucesivos entre los p subperiodos, y para cada uno de estos n_0 subperiodos, efectuar adquisiciones de radar para generar una imagen IM_{0x} (202) de resolución R_0 ;
- 5 ■ aplicar un tratamiento de autofocus en cada una de las n_0 imágenes IM_{0x} (203) generadas;
- 5 ■ combinar las n_0 imágenes (204) tratadas por autofocus con el fin de generar al menos una nueva imagen IM_{1x} de radar enfocada
- 10 ■ estando el procedimiento **caracterizado porque** las etapas (204) de combinación de las imágenes y de autofocus (203) se repiten reiteradamente para obtener una imagen de resolución R_{fin} deseada, generándose n_0 imágenes enfocadas al cabo de un tratamiento (203) de autofocus, el procedimiento consta de una fase iterativa que comprende al menos las etapas siguientes:
 - 15 ■ iniciar unas variables n_i y R_i como sigue: $n_i=n_0$ y $R_i=R_1$;
 - 15 ■ siempre y cuando la resolución R_i sea más aproximada que la resolución R_{fin} deseada:
 - distribuir las n_i imágenes de resolución R_i generadas anteriormente, en n_{i+1} conjuntos (311), conteniendo cada uno de dichos conjuntos al menos dos imágenes, sucediéndose las imágenes de manera temporal;
 - para cada uno de los n_{i+1} conjuntos (311) de imágenes de resolución R_i :
 - 20 • combinar (241) las imágenes del conjunto (311) para generar una nueva imagen de resolución R_{i+1} más fina;
 - aplicar un tratamiento de autofocus (203) sobre la nueva imagen de resolución R_{i+1} más fina;
 - actualizar las variables n_i y R_i , n_{i+1} se vuelve n_i y R_{i+1} se vuelve R_i .

25 2. Procedimiento de construcción de imágenes de radar enfocadas según la reivindicación anterior, en el que cada iteración de la etapa (204) de combinación de las imágenes comprende una etapa (244) de elección entre una combinación (241) coherente y una etapa (242) de combinación no coherente.

3. Procedimiento de construcción de imágenes de radar enfocadas según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** la etapa (241) de combinación coherente de las imágenes comprende al menos las subetapas siguientes:

- 30 ■ reajustar de manera temporal las imágenes entre sí (403);
- 30 ■ modificar las imágenes reajustadas para hacerlas superponibles (404);
- 30 ■ ensamblar las señales temporales que corresponden a cada una de las imágenes superponibles para generar una nueva señal (405),
- 30 ■ aplicar una transformada de Fourier según el eje temporal en dicha nueva señal para generar al menos una imagen de resolución R_i más fina que R_0 (406).

35 4. Procedimiento de construcción de imágenes de radar enfocadas según la reivindicación anterior, eligiéndose una imagen IM_{ref} de referencia entre las n_0 imágenes que hay que combinar, **caracterizado porque** la etapa (403) de reajuste temporal de las imágenes entre sí comprende al menos las subetapas siguientes:

- para cada una de las n_0-1 imágenes IM_x que no son la imagen IM_{ref} :
 - 40 ■ reajustar en posición los puntos reflectores de la imagen IM_x con respecto a los puntos reflectores de la imagen IM_{ref} de referencia;
 - 40 ■ reajustar en fase la imagen IM_x con respecto a IM_{ref} .

5. Procedimiento de construcción de imágenes de radar enfocadas según la reivindicación 3, **caracterizado porque** la etapa (404) de modificación de las imágenes reajustadas para hacerlas superponibles comprende al menos las subetapas siguientes:

- 45 ○ para cada una de las n_0-1 imágenes IM_x que no son la imagen IM_{ref} :
 - valorar el desfase residual de IM_x con respecto a IM_{ref} que valora la posición del pico de correlación entre estas dos imágenes IM_{ref} e IM_x (441);
 - corregir la imagen IM_x (442) aplicando a ella el desfase opuesto al valorado en la etapa (441) anterior.

50 6. Procedimiento de construcción de imágenes de radar enfocadas según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, iluminándose una misma zona geográfica por el radar durante toda la duración de la iluminación, estando el procedimiento **caracterizado porque** los n_0 subperiodos de recorte temporal se solapan sustancialmente a la mitad, eligiéndose los conjuntos (311) para comprender tres imágenes de resolución R_i siendo la resolución R_{i+1} de la imagen generada a partir de dichas tres imágenes sustancialmente dos veces más fina que la resolución R_i .

7. Procedimiento de construcción de imágenes de radar enfocadas según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** se paralelizan los tratamientos de combinación, unas imágenes de resolución R_a agrupadas en un primer conjunto (311) se combinan paralelamente a la combinación de imágenes de resolución R_b , siendo R_b más fina que R_a , agrupadas en un segundo conjunto (312), procediendo las imágenes del primer conjunto (311) de adquisiciones de radar efectuadas en un período separado de las adquisiciones de radar efectuadas para producir las imágenes del segundo conjunto (312).
- 5
8. Procedimiento de construcción de imágenes de radar enfocadas según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la etapa (242) de combinación no coherente comprende al menos las etapas siguientes:
- 10
- reajustar de manera temporal las imágenes entre sí (1103),
 - modificar las imágenes reajustadas para hacerlas superponibles (404),
 - poner en conformidad las imágenes superponibles en un punto de referencia común (1105),
 - sumar las imágenes conformes para promediarlas en potencia (1106).

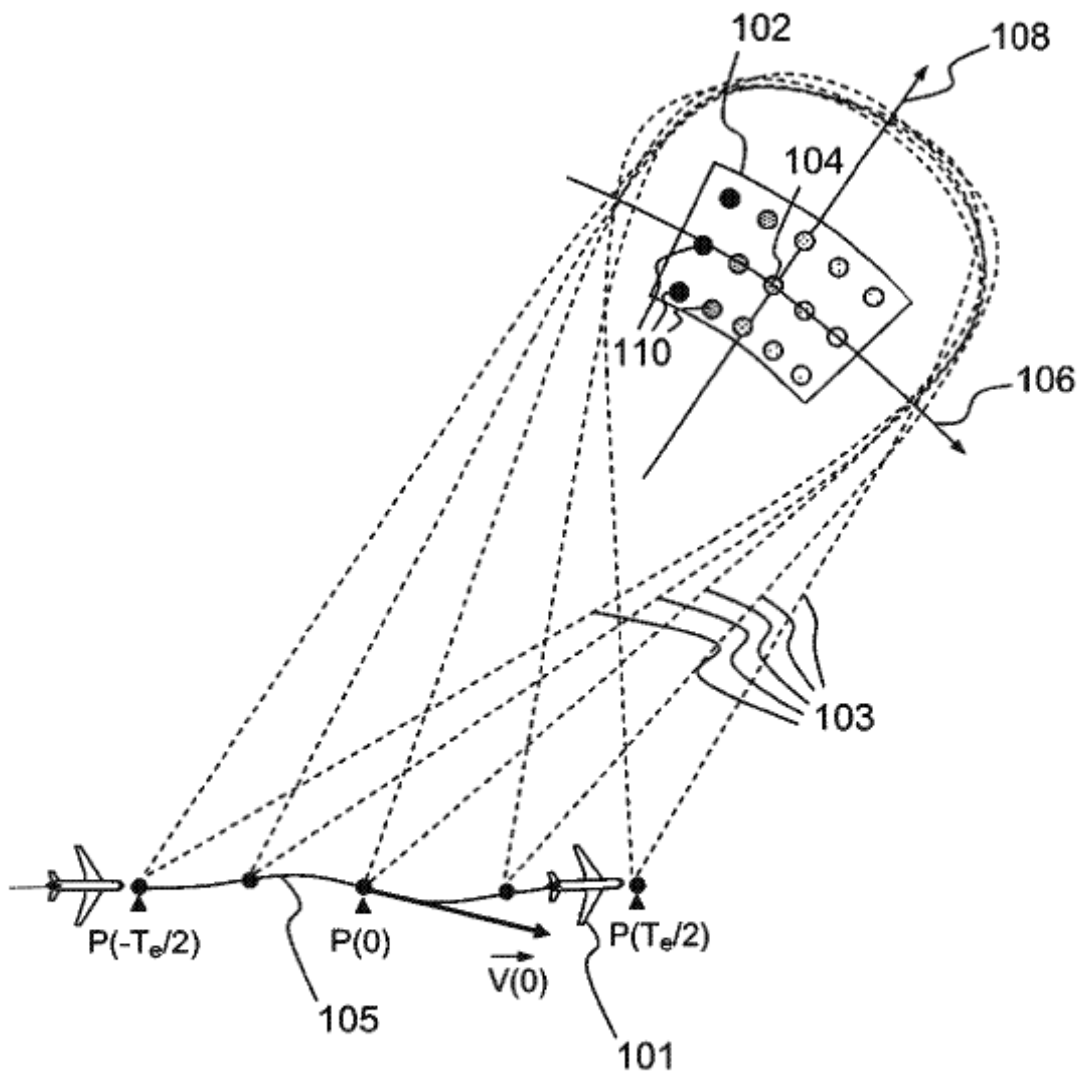


FIG.1

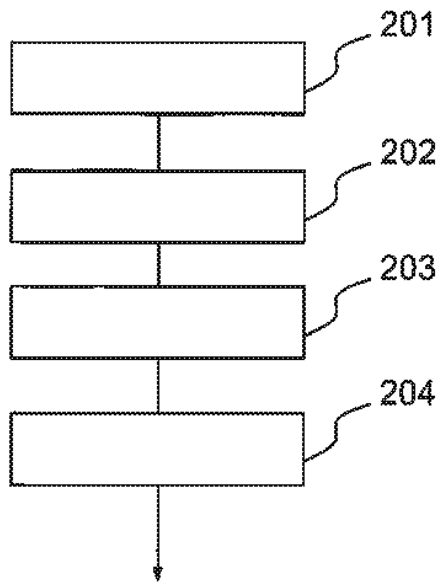


FIG.2

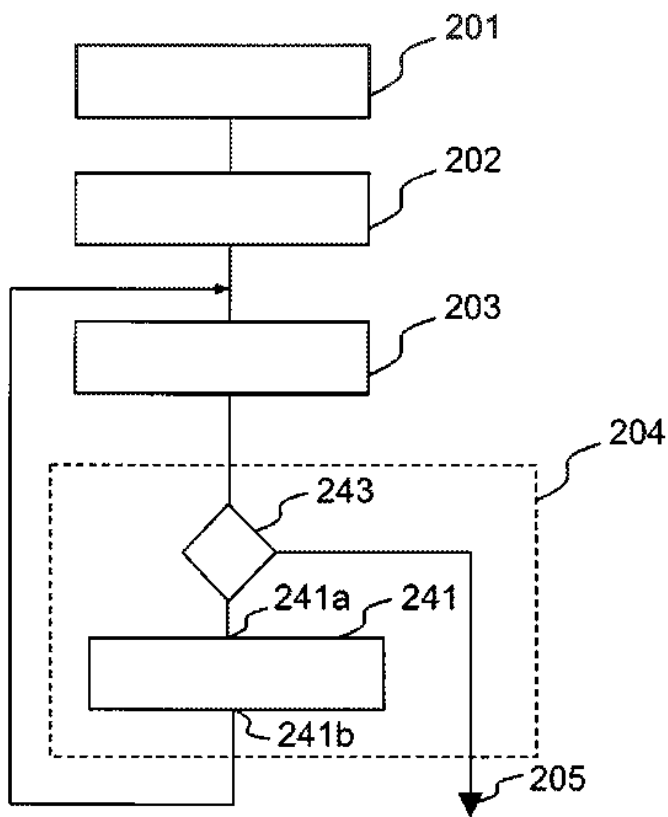


FIG.2a

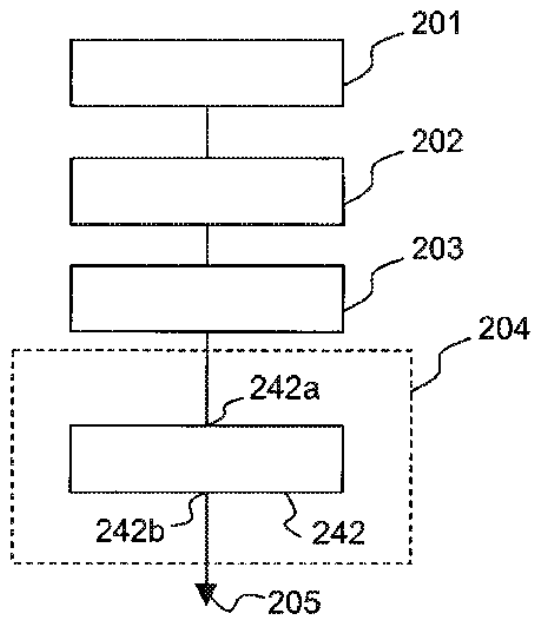


FIG. 2b

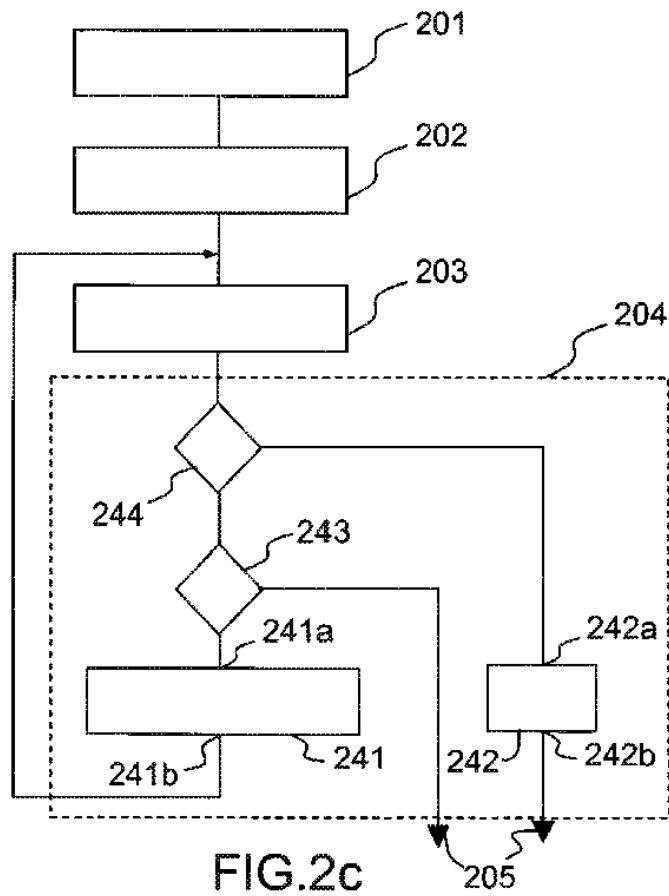


FIG. 2c

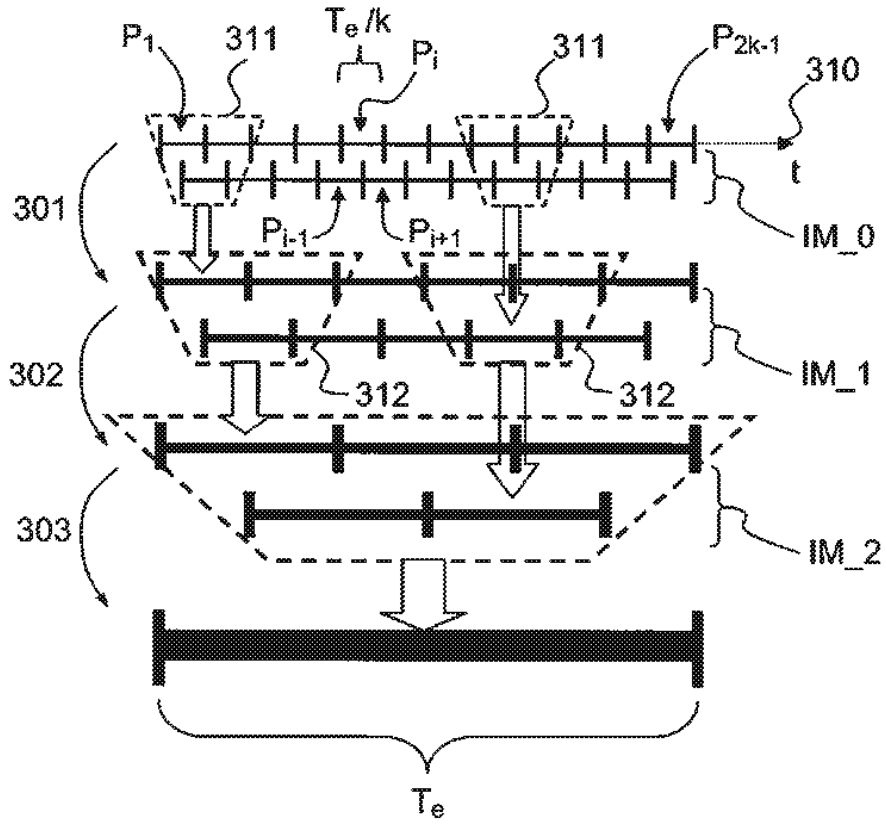


FIG.3

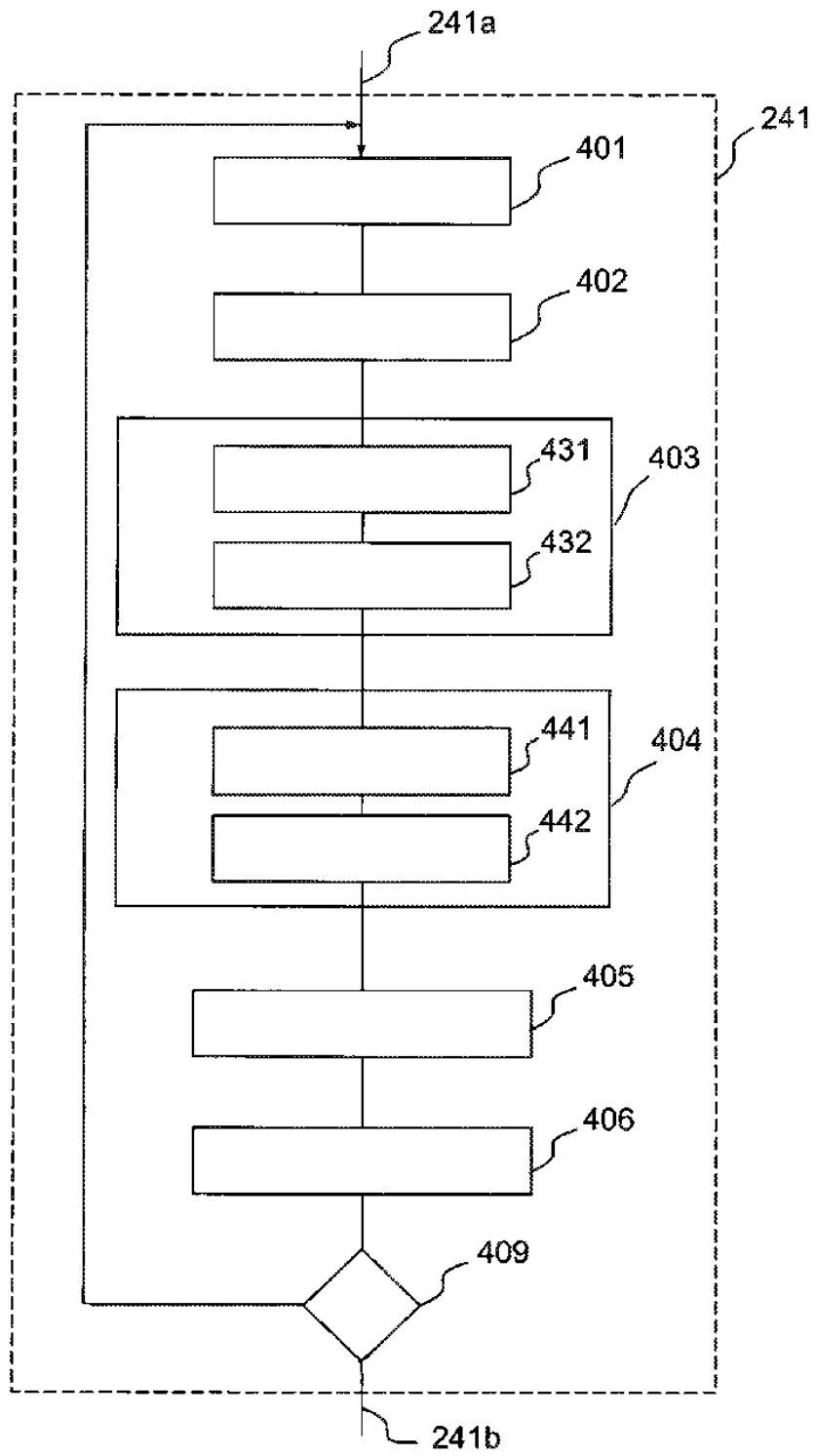


FIG.4

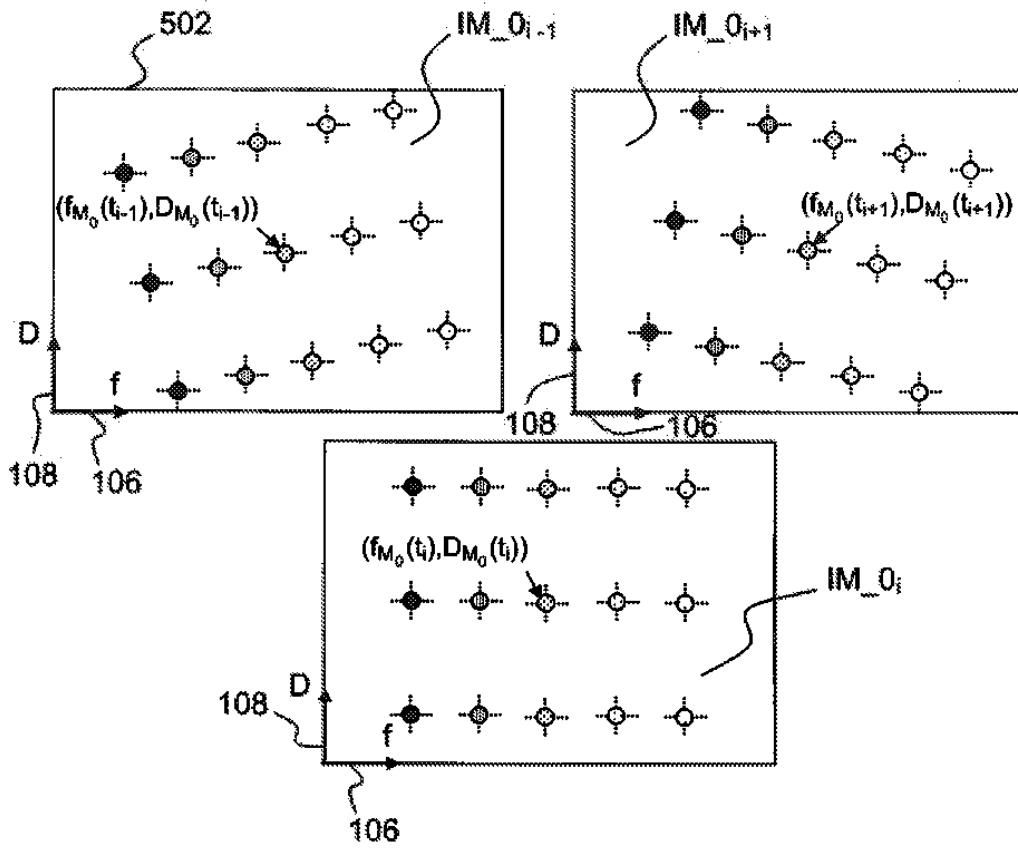


FIG.5

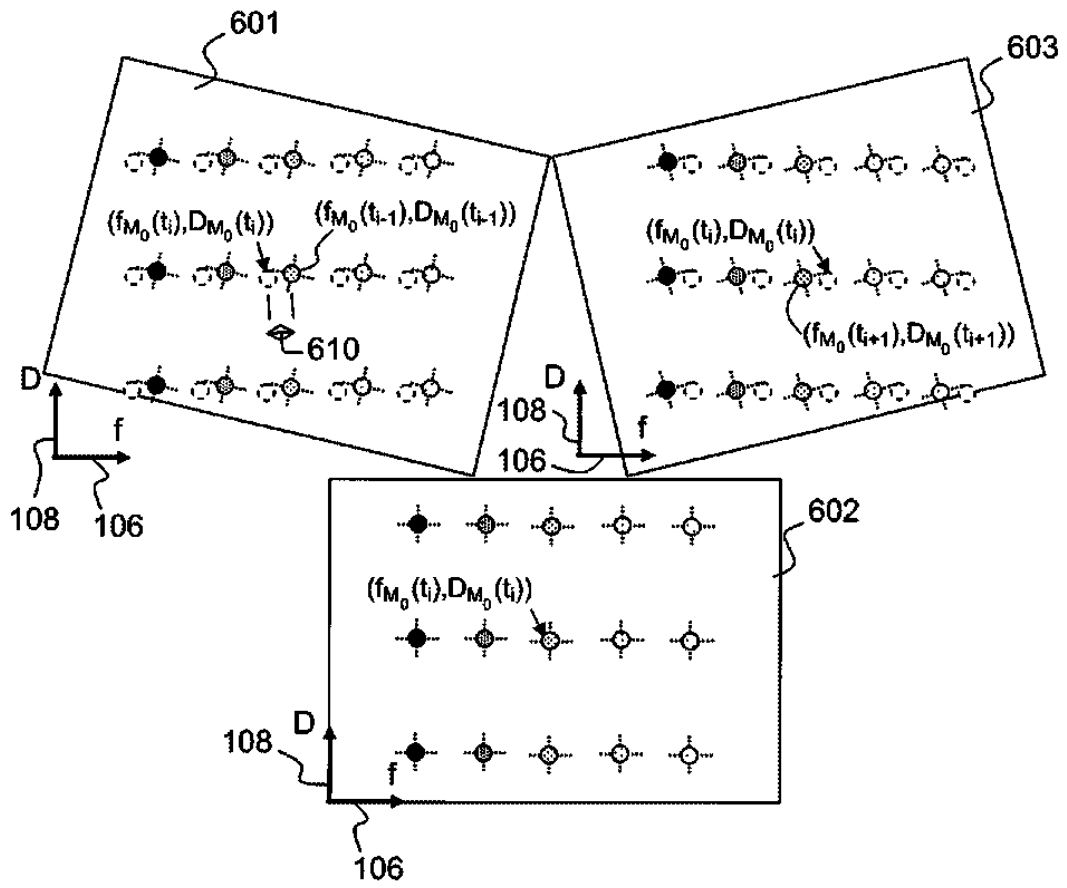


FIG.6

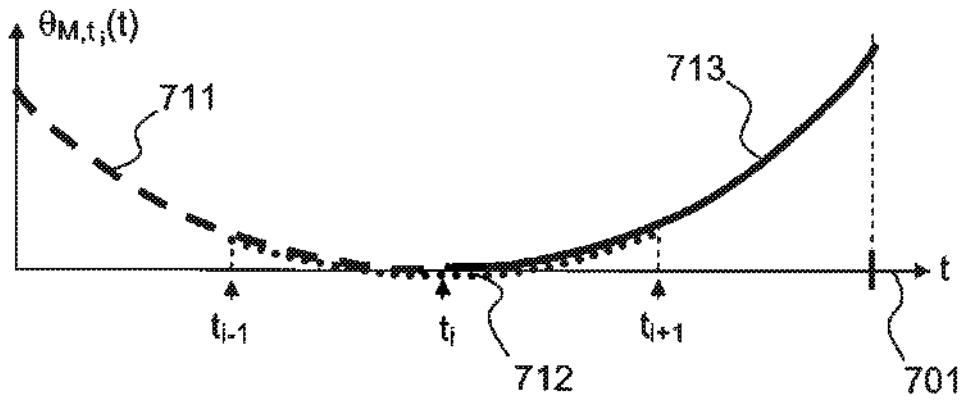


FIG. 7a

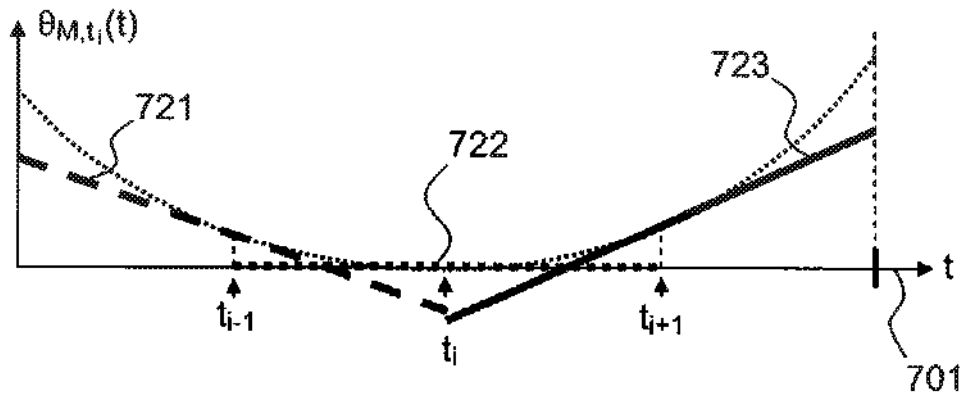


FIG. 7b

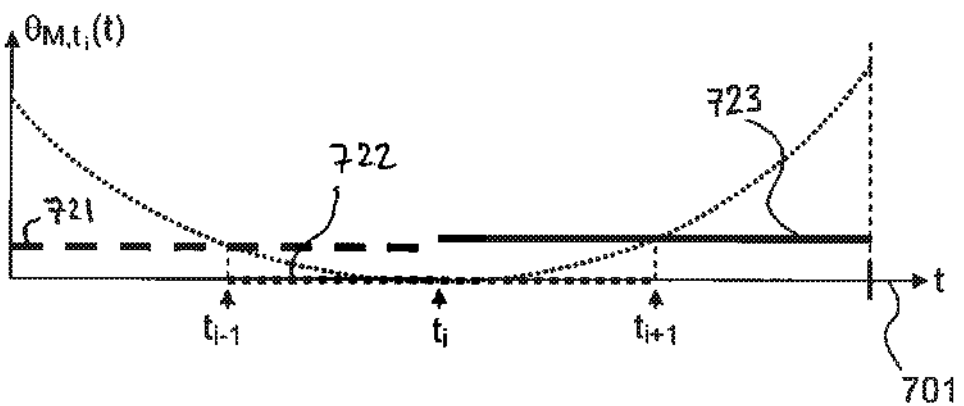


FIG. 7c

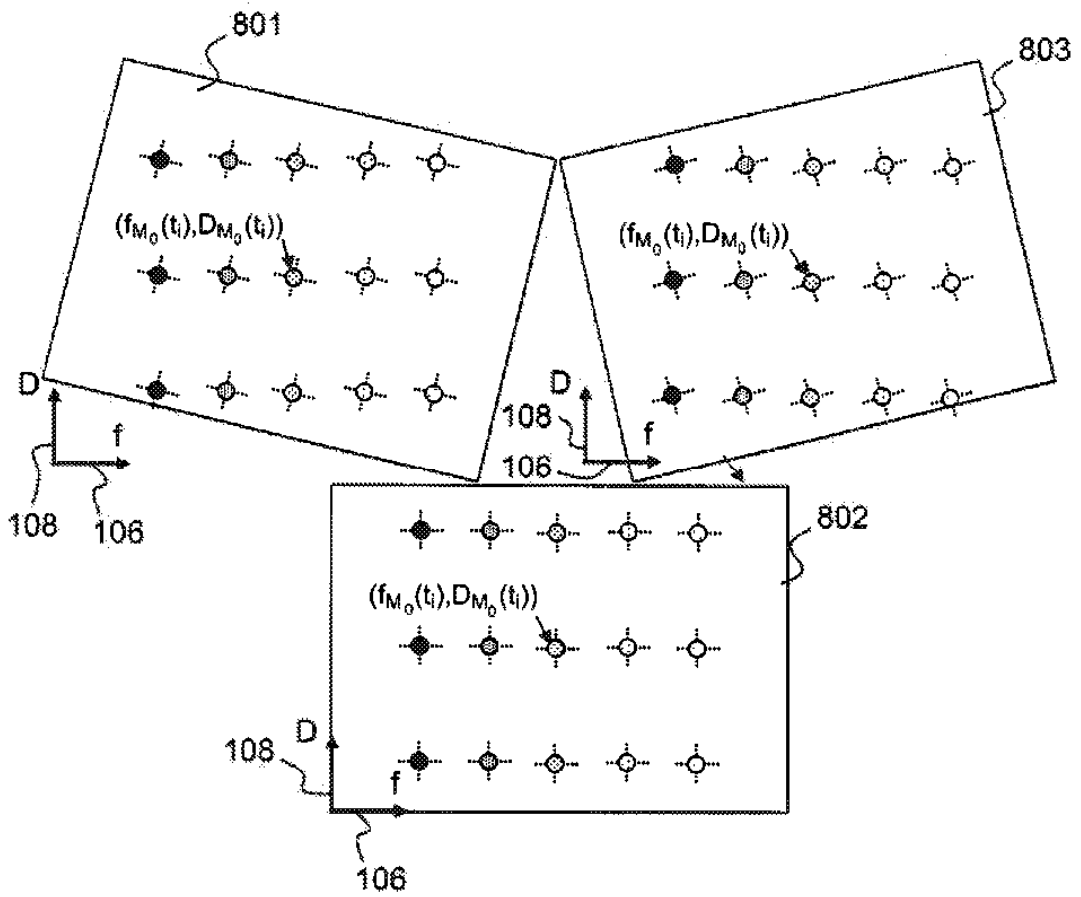


FIG.8

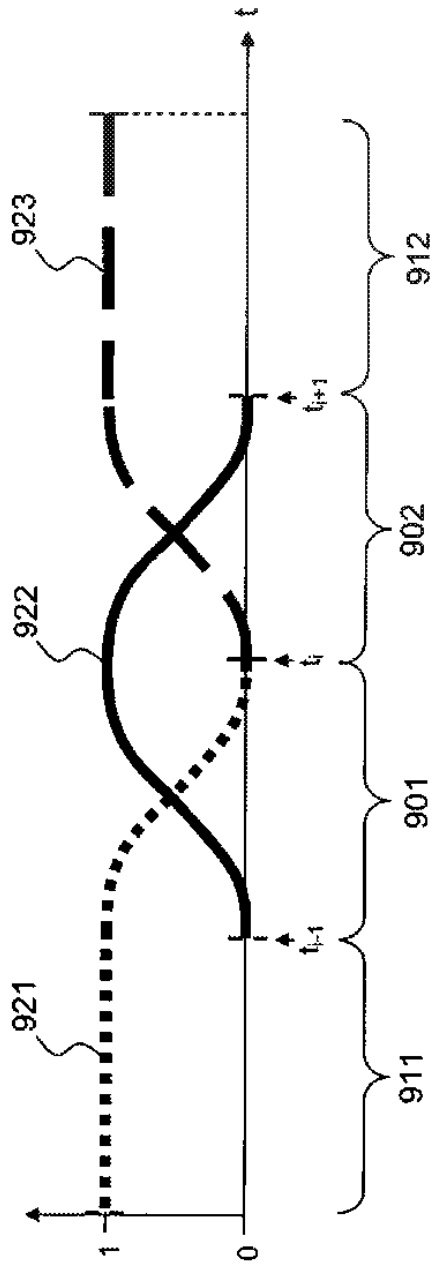


FIG. 9

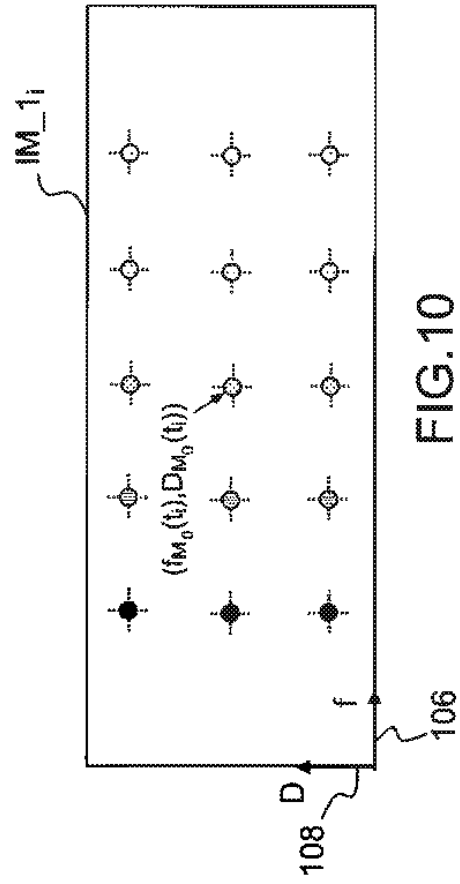


FIG. 10

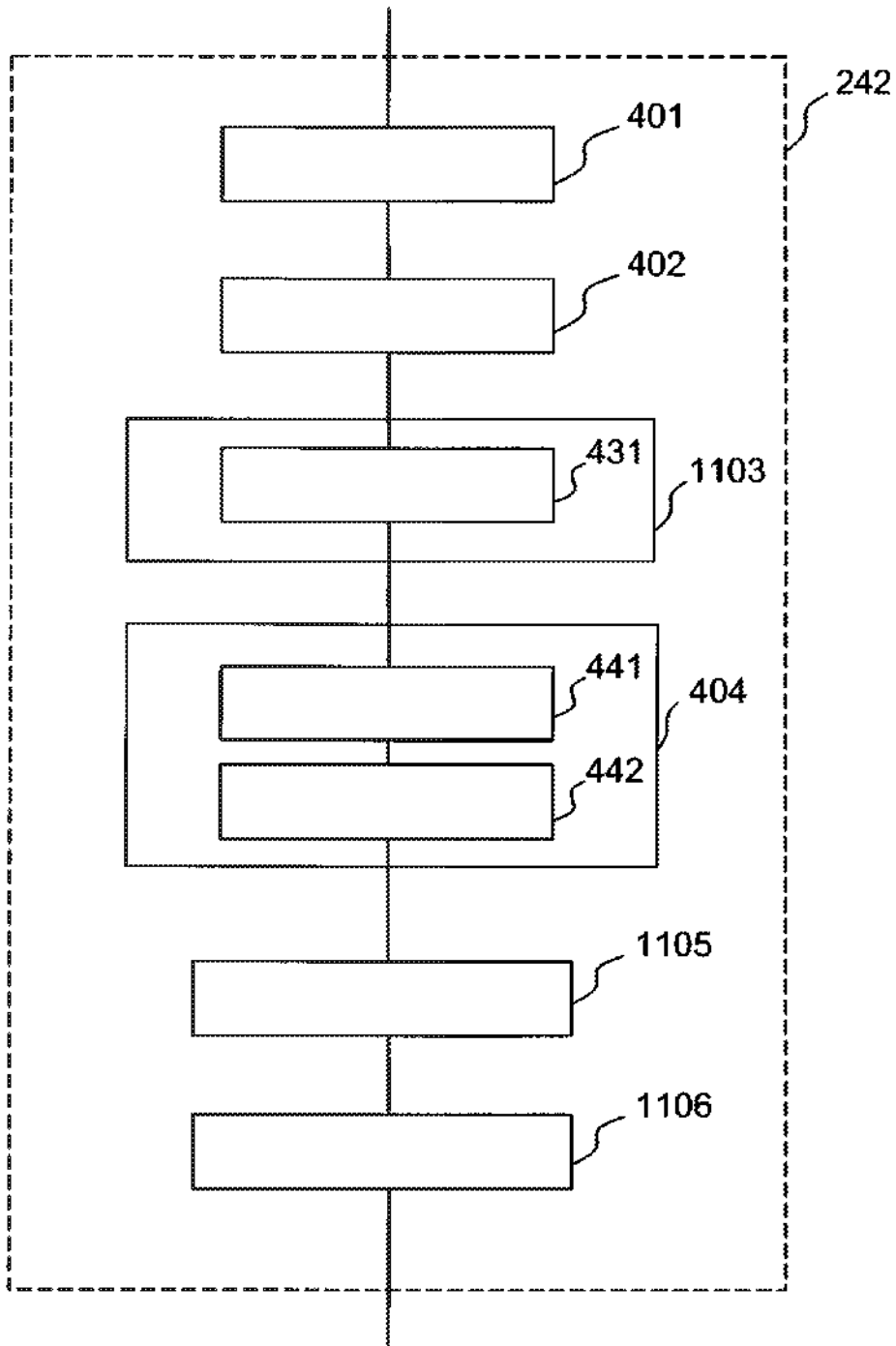


FIG.11