

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 464 727**

51 Int. Cl.:

G01S 13/90 (2006.01)

G01S 7/40 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.07.2009 E 09790648 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.04.2014 EP 2310872**

54 Título: **Sistema de seguimiento por radar**

30 Prioridad:

28.07.2008 US 181145

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

03.06.2014

73 Titular/es:

**RAYTHEON COMPANY (100.0%)
870 Winter Street
Waltham, MA 02451-1449, US**

72 Inventor/es:

**SAMANIEGO, RAYMOND;
MARQUETTE, BRANDEIS, E. y
RATH, JAGANNATH**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 464 727 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

Sistema de seguimiento por radar

CAMPO TÉCNICO DE LA DIVULGACIÓN

5 Esta divulgación se refiere en general a los radares y, más en particular, a un sistema de seguimiento por radar y a un procedimiento que usa el mismo.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10 Los radares detectan objetos transmitiendo pulsos de energía electromagnética y recibiendo energía electromagnética reflejada desde el objeto. Algunos radares pueden hacerse funcionar en un modo de radar de apertura sintética (SAR). El modo de radar de apertura sintética (SAR) combina pulsos reflejados en diferentes ubicaciones para formar una imagen de una región o uno o más blancos de interés. Los pulsos pueden combinarse separando información en cada imagen según sus componentes de frecuencia y amplitud. Algunos radares también pueden hacerse funcionar en un modo de radar de apertura sintética inversa (ISAR), en el que el radar recibe múltiples pulsos haciendo girar un transceptor de radar con respecto al uno o más blancos.

15 El documento US 5.281.972 da a conocer un aparato de suma de haces para mediciones RCS de grandes blancos, en el que las imágenes ISAR de secciones sucesivas de un blanco se registran para formar una imagen compuesta de todo el blanco, repitiéndose el procedimiento para ángulos de medición sucesivos.

RESUMEN DE LA INVENCION

Según la invención se proporciona un sistema de seguimiento por radar y un procedimiento según las reivindicaciones adjuntas.

20 Tal y como se da a conocer en este documento, un sistema de seguimiento por radar incluye un radar acoplado a un sistema de procesamiento de radar. El sistema de procesamiento de radar recibe imágenes del radar, cada una obtenida en una orientación angular diferente del radar con respecto a un blanco. El sistema de procesamiento de radar interpola cada imagen a lo largo de su extensión acimutal y después combina las imágenes interpoladas para formar una imagen mejorada del blanco.

25 Algunas realizaciones de la divulgación pueden proporcionar numerosas ventajas técnicas. Por ejemplo, una realización del sistema de procesamiento de radar de apertura sintética inversa puede proporcionar imágenes relativamente buenas usando radares receptores monocanal. Los radares receptores monocanal adquieren información de imagen desde una sola fuente y, por lo tanto, no pueden basarse en la separación espacial u otros modos de adquisición diferencial para cancelar el ruido u otros errores de medición. El sistema de procesamiento de radar interpola cada imagen recibida desde el radar para compensar errores de apertura a lo largo de la extensión acimutal del arco. Por tanto, múltiples imágenes pueden combinarse en una imagen mejorada que tiene una calidad comparable a la de radares receptores multicanal que funcionan en el modo de radar de apertura sintética inversa.

35 Algunas realizaciones pueden beneficiarse de algunas, ninguna o todas estas ventajas. Un experto en la técnica puede identificar fácilmente otras ventajas técnicas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Un entendimiento más completo de realizaciones de la divulgación resultarán evidentes a partir de la descripción detallada tomada junto con los dibujos adjuntos, en los que:

40 La FIGURA 1 muestra una realización de un sistema de seguimiento por radar según las enseñanzas de la presente divulgación.

La FIGURA 2 es un diagrama de bloques que muestra varios elementos del sistema de seguimiento por radar de la FIGURA 1.

La FIGURA 3 es un diagrama de flujo que muestra una realización de una serie de acciones que pueden llevarse a cabo para hacer funcionar el sistema de seguimiento por radar de la FIGURA 1.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES DE EJEMPLO

45 Los radares que funcionan en el modo de radar de apertura sintética inversa (ISAR) pueden proporcionar numerosos beneficios útiles. Por ejemplo, el modo de radar de apertura sintética inversa puede proporcionar imágenes en situaciones, tales como niebla, en las que la visibilidad normal puede estar limitada. Radares

5 conocidos generan imágenes combinando múltiples pulsos de radar recibidos para obtener información sobre blancos de interés. Para generar un nivel de detalle deseado, estos radares usan normalmente receptores multicanal, donde los canales están separados entre sí usando diferentes frecuencias de funcionamiento o mediante separación física. Puede suprimirse información extraña en las imágenes obtenidas combinando de manera diferencial imágenes de cada canal del radar multicanal.

10 El uso de radares monocal que funcionan en el modo de radar de apertura sintética inversa para producir imágenes que tienen una resolución adecuada es generalmente difícil. Las razones de obtener un nivel de resolución generalmente inadecuado pueden incluir variaciones en el transceptor de radar monocal cuando se explora a través de un blanco durante un periodo de tiempo. Por ejemplo, la dirección del haz electromagnético recibido por el radar presenta normalmente imprecisiones que pueden limitar la resolución de la imagen.

15 La FIGURA 1 muestra una realización de un sistema de seguimiento por radar 10 que puede proporcionar una solución a este problema y otros problemas. El sistema de seguimiento por radar 10 incluye un sistema de procesamiento de radar 12 acoplado a un radar 14 y un sistema de navegación 16. El sistema de navegación 16 está configurado en una aeronave 18. El radar 14 genera energía electromagnética 20 que puede ser reflejada por un blanco 22 y una o más características de terreno 24, que en este caso son montañas. El sistema de procesamiento de radar 12 recibe pulsos desde el radar 14 y combina estos pulsos para formar imágenes del blanco 22 y de las características de terreno 24. Estas imágenes pueden incluir información de amplitud y extensión asociada al blanco 22 y a las características de terreno 24. Según las enseñanzas de la presente divulgación, las imágenes pueden interpolarse a lo largo de su extensión acimutal y combinarse posteriormente para formar una imagen mejorada del blanco 22.

20 La combinación de imágenes interpoladas del blanco 22 puede proporcionar imágenes que tienen una mayor resolución con respecto a los radares receptores monocal conocidos en algunas realizaciones. La interpolación se refiere en general a la introducción controlada de ruido en las imágenes recibidas. En una realización, la frecuencia de interpolación a lo largo de la extensión acimutal de las imágenes puede mantenerse lo suficientemente baja para no degradar excesivamente la calidad de la imagen combinada resultante.

25 En una realización, el sistema de procesamiento de radar 12 correlaciona ubicaciones medidas de características de terreno 24 con ubicaciones conocidas de estas características de terreno 24 obtenidas mediante el sistema de navegación 16 para determinar un factor de corrección de eje de puntería para el radar 14. El factor de corrección de eje de puntería obtenido puede usarse para corregir el error de puntería estática del radar 14 y, por tanto, para reducir un error acimutal en la ubicación determinada del blanco 22.

30 Determinadas realizaciones que usan ubicaciones conocidas de características de terreno 24 que pueden estar presentes en imágenes recibidas para generar un factor de corrección de eje de puntería pueden proporcionar una mayor precisión de la ubicación del blanco. Muchos radares receptores monocal que funcionan en el modo de funcionamiento de radar de apertura sintética inversa sufren debido a la no cancelación de ruido angular diferencial. Por este motivo se usan radares receptores multicanal en lugar de radares receptores monocal. Sin embargo, los radares receptores multicanal son relativamente más caros que sus radares receptores monocal homólogos. El sistema de procesamiento de radar 12 correlaciona ubicaciones conocidas de características de terreno 24 con sus ubicaciones medidas obtenidas en las imágenes recibidas para reducir aberraciones provocadas por errores de orientación angular característicos de los radares receptores monocal.

35 En la realización particular mostrada, el sistema de seguimiento por radar 10 está configurado en una aeronave 18 que tiene un sistema de navegación a bordo 16. En otras realizaciones, el sistema de seguimiento por radar 10 puede estar configurado en cualquier plataforma adecuada, tal como una plataforma portátil o fijada en el suelo que identifica características de terreno 24 específicas en torno a un blanco 22 de interés. El sistema de procesamiento de radar 12 puede correlacionar estas características de terreno 24 conocidas con características de terreno 24 obtenidas en la parte de imagen de fondo de imágenes para generar un factor de corrección de eje de puntería para el radar 14.

40 La FIGURA 2 es un diagrama de bloques que muestra varios elementos del sistema de seguimiento por radar 10 de la FIGURA 1. El sistema de procesamiento de radar 12 puede ejecutarse en un sistema informático 26 adecuado que presenta un procesador 28 que ejecuta instrucciones almacenadas en una memoria 30. La memoria 30 almacena registros 32 que incluyen información que indica varias características de terreno 24 que pueden ser detectadas por el radar 14. Por ejemplo, los registros 32 pueden incluir información de una cordillera particular que esté cerca de una ruta de reconocimiento frecuentemente sobrevolada. El sistema de procesamiento de radar 12 correlaciona la ubicación y el rumbo de la aeronave 18 obtenidos a partir del sistema de navegación a bordo 16 con información almacenada en los registros 32 para determinar la ubicación de características de terreno 24, tales como la una o más montañas. Las imágenes recibidas que incluyen estas características de terreno 24 pueden combinarse con estas ubicaciones conocidas para determinar un factor de corrección de eje de puntería

para el radar 14.

En funcionamiento, el sistema de procesamiento de radar 12 recibe información de ubicación desde el sistema de navegación a bordo 16 y obtiene características de terreno 24 particulares a la información de ubicación recibida. Usando estas ubicaciones de características de terreno conocidas, las ubicaciones de características de terreno medidas presentes en las imágenes recibidas pueden usarse para proporcionar un factor de corrección de eje de puntería para el radar 14. El sistema de navegación a bordo 16 puede incluir uno o más dispositivos cualesquiera que proporcionen la ubicación y el rumbo de la aeronave 18, los cuales pueden ser, por ejemplo, un sistema de posicionamiento global (GPS), una brújula y/o un dispositivo de radiofaro omnidireccional VHF (VOR).

El radar 14 puede ser cualquier tipo adecuado de radar que pueda ser explorado a través de un arco para el funcionamiento en un modo de funcionamiento de radar de apertura sintética inversa. El radar 14 incluye un mecanismo de exploración que explora un haz recibido 34 por medio de un arco 36 a través de un blanco 22 de interés. El arco 36 tiene una longitud de arco que se refiere a la extensión angular desde una primera orientación 38 hasta una segunda orientación 40. En una realización, el radar 14 es explorado físicamente usando un dispositivo de activación de motor que hace girar el radar 14 a través del arco 36. El haz recibido 34 tiene un eje de puntería 40 que generalmente designa una dirección del lóbulo central del haz recibido 34.

θ_{desfase} representa una orientación angular del haz recibido 34 con respecto al ángulo aparente del blanco 22. Debido a imprecisiones del mecanismo de exploración del radar 14, el sistema de procesamiento de radar 12 determina el factor de corrección de eje de puntería para compensar el error de desviación θ_{error} . En una realización, el factor de corrección de eje de puntería puede obtenerse en un radar particular 14 en el que el sistema de procesamiento de radar 12 usa una técnica de procesamiento de subapertura solapada (OSA). Usando la técnica de procesamiento de subapertura solapada, la estimación del error de desviación θ_{error} puede obtenerse en las diversas subaperturas antes de recortar las imágenes. En otra realización, el factor de corrección de eje de puntería puede obtenerse usando una técnica de radar de apertura sintética enfocada (SAR). Usando la técnica de radar de apertura sintética enfocada no hay subaperturas. La estimación del error de desviación θ_{error} puede obtenerse antes de recortar la imagen resultante. Una estimación de la relación ecos parásitos a ruido puede usarse junto con valores umbral predeterminados para determinar el nivel de importancia de una determinada medición. Si la técnica de radar de apertura sintética enfocada se usa sobre el agua, puede ser deseable que el sistema de procesamiento de radar 12 rechace la corrección en la que un umbral de amplitud debería tratar este caso.

Cuando se hace funcionar en el modo de radar de apertura sintética inversa, el sistema de procesamiento de radar 12 controla el radar 14 para realizar exploraciones repetidamente con un movimiento de vaivén a través de un arco 36 para obtener múltiples imágenes en diversas orientaciones angulares con respecto al blanco 22. En una realización, el sistema de procesamiento de radar 12 controla la longitud de arco según una estimación actual de una orientación angular del blanco 22. Es decir, la distancia angular a través de la cual se desplaza el haz recibido 34 está basada en una estimación actual de la ubicación del blanco 22.

En una realización, la orientación angular del blanco 22 puede determinarse usando un centroide geométrico de pulsos recibidos en cada imagen. En muchos casos, el blanco 22 puede tener múltiples elementos estructurales que están separados espacialmente entre sí, tal como una embarcación que presenta varios mástiles. Por lo tanto, el radar 14 puede recibir por separado los pulsos reflejados desde cada uno de estos elementos estructurales. Calculando un valor promedio de la energía electromagnética reflejada en lugar del valor de retorno máximo, en algunas realizaciones puede obtenerse una estimación relativamente más precisa de la orientación angular de blancos que presentan múltiples elementos estructurales. El centroide geométrico ($\text{centroide}_{\text{az}}$) puede calcularse según la siguiente fórmula:

$$\text{centroide}_{\text{az}} = \frac{\sum a_i \cdot \text{az}_{\text{ant}}}{\sum a_i}$$

donde:

a_i es la amplitud del blanco proporcionada por el valor de mediana proporcionado en 2; y
 az_{ant} es al ángulo acimutal de antena proporcionado por el codificador, correspondiente a la amplitud del blanco.

En algunos casos puede introducirse un error de medición debido a diversas inclemencias atmosféricas, tales como inversiones térmicas, precipitaciones u otros residuos presentes en el aire y dispersados en la atmósfera. Por tanto, en una realización, el sistema de procesamiento de radar 12 determina un factor de corrección

troposférico para la energía electromagnética recibida por el radar 14. Una realización de una fórmula para proporcionar un factor de corrección troposférico (tropo_cor(m)) es:

$$tropo_cor = SESGO_TROPO + FACTOR_ESCALA_TROPO \cdot \left(\frac{r_b}{1000} \right) \sqrt{\frac{surf_ref}{(h/304.8)}}$$

donde:

- 5 r_b es la distancia oblicua;
 h es la altura del radar por encima del blanco;
 surf_ref es la refractividad de superficie; y
 SESGO_TROPO y FACTOR_ESCALA_TROPO son coeficientes que se obtienen de manera empírica.

10 La distancia oblicua representa la distancia real hasta el blanco 22 antes de cualquier factor de ajuste que se use para correlacionar el blanco 22 con un sistema de coordenadas adecuado, tal como el sistema de coordenadas Este-Norte-vertical (*East North up*, ENU) o el sistema de coordenadas Centrado en Tierra - Fijado a Tierra (*Earth centered Earth fixed*, ECEF). Los coeficientes SESGO_TROPO y FACTOR_ESCALA_TROPO representan un "promedio mundial" con respecto a diferentes zonas de la Tierra. Pueden obtenerse más mejoras usando coeficientes que varíen con la ubicación.

15 En una realización, el sistema de procesamiento de radar 12 implementa un factor de corrección de distancia de calibración para calibrar mediciones de distancia proporcionadas por el radar 14. El factor de corrección de distancia de calibración puede determinarse usando blancos aislados inspeccionados que tengan una distancia conocida desde el radar 14. El sistema de seguimiento por radar 10 mide y registra mediciones de distancia para cada uno de estos blancos aislados inspeccionados. Después, los valores medidos pueden compararse con
 20 valores conocidos de sus distancias para calcular el factor de corrección de distancia de calibración para el sistema de seguimiento por radar 10.

25 El sistema de procesamiento de radar 12 combina imágenes mediante cualquier manera adecuada. En una realización, el sistema de procesamiento de radar 12 usa un filtro de Kalman ampliado para combinar las imágenes recibidas por el radar 14. El filtro de Kalman introduce valores medidos para la distancia, el efecto Doppler y el punto de apoyo del blanco 22 para estimar su posición y velocidad. Por lo tanto, hay una relación no lineal entre el estado estimado del blanco 22 y sus mediciones. La aceleración de blancos que se desplazan lentamente, tales como embarcaciones, es relativamente beneficiosa; por lo tanto, no se estima su aceleración sino que se expresa usando la matriz de covarianza de ruido de estados Q. Una forma general de un filtro de Kalman puede expresarse mediante una matriz de transición de estados y un vector de estados:

$$\Phi(t_{i+1}, t_i) = \Phi(t_i + T, t_i) : \text{Matriz de Transición de Estados} = \begin{pmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

30

$$X_i : \text{Vector de Estados} = [E_i \ \dot{E}_i \ N_i \ \dot{N}_i]$$

donde:

- 35 T es el intervalo de actualización entre ciclos de filtro;
 el subíndice i se refiere al índice de ciclo de filtro;
 (E_i, N_i) son las posiciones Este y Norte del blanco, respectivamente;
 (\dot{E}_i, \dot{N}_i) son las componentes de velocidad del blanco, respectivamente.

Después de adquirir cada imagen, el filtro de Kalman calcula una nueva estimación de la posición y velocidad del blanco 22. Cada nuevo estado puede calcularse según:

$$K_i = P_i^- H_i^T * (H_i P_i^- H_i^T + R)^{-1}$$

$$X_i^+ = X_i^- + K_i * (\text{observación_medida} - \text{observación_predicha})$$

donde:

- X^- es el vector de estados antes de la incorporación de imágenes;
- X^+ es el vector de estados después de la incorporación de imágenes;
- 5 H es una matriz de geometría que puede incluir derivadas parciales de imágenes con respecto las unas de las otras;
- P es la matriz de covarianza de estados;
- K es la matriz de ganancia de Kalman;
- R es la matriz de covarianza de medición; y
- 10 Q es la matriz de ruido de estados.

La matriz de covarianza puede actualizarse de la siguiente manera:

$$P_i^+ = (I - K_i H_i) P_i^- (I - K_i H_i)^T + K_i R K_i^T$$

La matriz de transición de estados y la matriz de covarianza pueden ampliarse con cada nueva medición según:

$$X_{i+1}^- = \Phi(t_{i+1}, t_i) X_i^+; \quad t_{i+1} = t_i + T$$

$$X_{i+1}^- = X^-(t_{i+1}) \quad \text{etc}$$

15

$$P_{i+1}^- = \Phi(t_{i+1}, t_i) P_i^+ \Phi(t_{i+1}, t_i)^T + Q(t_{i+1}, t_i)$$

donde

$$Q(t_{i+1}, t_i) = Q(t_i + T, t_i) = T \sigma_a^2 \begin{pmatrix} T^2/3 & T/2 & 0 & 0 \\ T/2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & T^2/3 & T/2 \\ 0 & 0 & T/2 & 1 \end{pmatrix}$$

- 20 En la ecuación anterior, σ_a caracteriza la desviación estándar de ruido de aceleración. En esta implementación se incorpora una medición cada vez. Por tanto, el cálculo no requiere ninguna inversión matricial.

- 25 El filtro de Kalman también puede incluir una matriz de observación o matriz de geometría para correlacionar valores medidos de las componentes de distancia, posición y velocidad del blanco 22 con respecto a un sistema de coordenadas adecuado. Un sistema de coordenadas cartesiano rectangular, tal como un nivel local o el sistema de coordenadas Este-Norte-vertical (ENU), puede usarse para hacer referencia a la posición y la velocidad del blanco 22. El origen de este sistema de coordenadas, descrito por la latitud, la longitud y la altitud ($\lambda_0, \varphi_0, 0$) en un sistema de coordenadas geodésico es arbitrario pero puede situarse cerca del blanco 22. Un blanco particular, tal como una embarcación que normalmente está ligada a la superficie de la Tierra, puede describirse en cuanto a sus componentes de posición Este y Norte en el plano de nivel local. La posición y la velocidad del radar 14, que pueden proporcionarse por el sistema de navegación 16 configurado en la aeronave 18, se proporcionan normalmente en lo que respecta a su latitud, longitud y altitud ya que la posición y la velocidad se especifican mediante sus componentes Este, Norte y vertical. En una realización, los valores estimados de posición y distancia del blanco 22 pueden correlacionarse con un sistema de coordenadas Este-Norte-vertical según las siguientes ecuaciones:
- 30

$$\rho = \text{Distancia terrestre} = [(E_T - E_A)^2 + (N_T - N_A)^2]^{1/2}$$

$$\vec{R}_T = (E_T, N_T, 0) : \text{Vector de posición de blanco}$$

$$\vec{V}_T = (\dot{E}_T, \dot{N}_T, 0) : \text{Vector de velocidad de blanco}$$

$$\vec{R}_A = (E_A, N_A, U_A) : \text{Vector de posición de aeronave}$$

$$\vec{V}_A = (\dot{E}_A, \dot{N}_A, \dot{U}_A) : \text{Vector de velocidad de aeronave}$$

5

$$H = \left[\frac{\partial \rho}{\partial E_T} \quad \frac{\partial \rho}{\partial \dot{E}_T} \quad \frac{\partial \rho}{\partial N_T} \quad \frac{\partial \rho}{\partial \dot{N}_T} \right] = [l_x \ 0 \ l_y \ 0]$$

$$l_x = \frac{(E_T - E_A)}{\rho}, l_y = \frac{(N_T - N_A)}{\rho}$$

El valor de velocidad estimado del blanco 22 puede correlacionarse con el sistema de coordenadas Este-Norte-vertical según las siguientes ecuaciones:

$$D = \frac{2(\vec{V}_T - \vec{V}_A) \cdot (\vec{R}_T - \vec{R}_A)}{\lambda \rho_a}$$

10

$$\rho_a = [(E_T - E_A)^2 + (N_T - N_A)^2 + U_A^2]^{1/2}$$

$$H = \left[\frac{\partial D}{\partial E_T} \quad \frac{\partial D}{\partial \dot{E}_T} \quad \frac{\partial D}{\partial N_T} \quad \frac{\partial D}{\partial \dot{N}_T} \right] = [h_{11} \ h_{12} \ h_{13} \ h_{14}]$$

$$h_{11} = \frac{2(\dot{E}_T - \dot{E}_A)}{\lambda \rho_a} - D \frac{l'_x}{\rho_a}; \quad h_{12} = \frac{2l'_x}{\lambda}$$

$$h_{13} = \frac{2(\dot{N}_T - \dot{N}_A)}{\lambda \rho_a} - D \frac{l'_y}{\rho_a}; \quad h_{14} = \frac{2l'_y}{\lambda}$$

donde

$$l'_x = \frac{(E_T - E_A)}{\rho_a}, \quad l'_y = \frac{(N_T - N_A)}{\rho_a}$$

15

El valor estimado del punto de apoyo del blanco 22 puede correlacionarse con el sistema de coordenadas Este-Norte-vertical según las siguientes ecuaciones:

$$Az = \arctan \left[\frac{(LGV_{-E_T} - LGV_{-E_A})}{(LGV_{-N_T} - LGV_{-N_A})} \right]$$

20

$$H = \left[\frac{\partial Az}{\partial E_T} \quad \frac{\partial Az}{\partial \dot{E}_T} \quad \frac{\partial Az}{\partial N_T} \quad \frac{\partial Az}{\partial \dot{N}_T} \right] = [h_{11} \ 0 \ h_{13}]$$

$$h_{11} = \frac{1}{\left[1 + \frac{(E_T - E_A)^2}{(N_T - N_A)^2}\right]} \frac{1}{(N_T - N_A)} = \frac{(LGV_N_T - LGV_N_A)}{[(LGV_N_T - LGV_N_A)^2 + (LGV_E_T - LGV_E_A)^2]}$$

$$h_{13} = -\frac{\frac{(E_T - E_A)}{(N_T - N_A)}}{\left[1 + \frac{(E_T - E_A)^2}{(N_T - N_A)^2}\right]} \frac{1}{(N_T - N_A)} = -\frac{(LGV_E_T - LGV_E_A)}{[(LGV_N_T - LGV_N_A)^2 + (LGV_E_T - LGV_E_A)^2]}$$

5 Pueden realizarse modificaciones, adiciones u omisiones en el sistema de seguimiento por radar 10 sin apartarse del alcance de la invención. Los componentes del sistema de seguimiento por radar 10 pueden estar integrados o separados. Por ejemplo, el sistema de navegación 16 puede estar integrado en el sistema de procesamiento de radar 12. Además, las operaciones del sistema de seguimiento por radar 10 pueden llevarse a cabo por más, menos u otros componentes. Por ejemplo, la realización descrita anteriormente usa un radar que es explorado físicamente usando un mecanismo de activación mecánico. Otras realizaciones pueden usar una matriz activa electrónicamente explorada (AESAs) que presenta múltiples elementos radiantes que pueden excitarse de manera independiente para explorar el haz recibido 34 a través de un arco 36.

La FIGURA 3 es un diagrama de flujo que muestra una realización de una serie de acciones que pueden llevarse a cabo para hacer funcionar el sistema de seguimiento por radar 10. En la acción 100 se inicia el proceso.

15 En la acción 102, el sistema de procesamiento de radar 12 explora el radar 14 a través de un arco 36. En una realización, el radar 14 es un radar receptor monocanal. En otra realización, el radar 14 incluye un mecanismo de activación de motor para explorar físicamente su haz recibido a través del arco 36. El radar 14 puede explorarse de modo que el blanco 22 se mantenga dentro de la longitud angular del arco 36.

20 En la acción 104, el sistema de procesamiento de radar 12 controla la longitud de arco del arco explorado 36 según una orientación estimada del blanco 22. El filtro de Kalman genera una estimación de la dirección del blanco 22 que puede variar con el tiempo. Para blancos que son estacionarios o que tienen una velocidad relativamente lenta o fija, la estimación puede mejorarse con la adquisición de cada imagen. Sin embargo, la estimación puede empeorar a medida que el blanco 22 se desplaza, gira o cambia de velocidad. Por tanto, el sistema de procesamiento de radar 12 puede modificar la longitud de arco a través de la cual se explora el radar 14 según la dirección estimada del blanco 22.

25 En la acción 106, el sistema de procesamiento de radar 12 recibe imágenes del radar 14. Cada imagen puede incluir una pluralidad de pulsos que indican un blanco y una o más características de terreno 24. Las imágenes se adquieren cuando se explora el radar 14. Por tanto, cada imagen tiene una orientación angular con respecto al blanco 22 que difieren entre sí. Cada imagen recibida por el sistema de procesamiento de radar 12 se interpola a lo largo de su extensión acimutal.

30 En la acción 108, el sistema de procesamiento de radar 12 determina la dirección del blanco 22 generando un centroide geométrico según los pulsos recibidos que indican el blanco 22. En algunas realizaciones, determinar la dirección del blanco 22 usando un centroide geométrico en lugar de la amplitud máxima de los pulsos puede proporcionar una mayor precisión debido a blancos particulares que presentan varios elementos estructurales que están físicamente separados entre sí.

35 En la acción 110, el sistema de procesamiento de radar 12 determina un factor de corrección de eje de puntería para el radar 14 y ajusta la orientación angular de las imágenes con respecto al blanco 22 según el factor de corrección de eje de puntería. En una realización particular en la que el sistema de seguimiento por radar 10 está configurado en una aeronave 18, el sistema de procesamiento de radar 12 determina el factor de corrección de eje de puntería según una o más características de terreno 24 en la parte de fondo de las imágenes. Estas características de terreno 24 se correlacionan con ubicaciones conocidas de cada una de la una o más características de terreno para determinar el factor de corrección de eje de puntería.

45 En la acción 112, el sistema de procesamiento de radar 12 determina uno o más factores de corrección de distancia para el radar 14 y ajusta los valores de distancia medidos del blanco 22 y una o más características de terreno según los factores de corrección de distancia. En una realización, el sistema de procesamiento de radar 12 genera un factor de corrección de distancia troposférico para contrarrestar varias inclemencias y/o variaciones climáticas en la atmósfera, tales como temperatura, precipitaciones, humedad y similares. En otra realización, el sistema de procesamiento de radar 12 genera un factor de corrección de distancia de calibración en el que los

valores de distancia medidos se comparan con valores de distancia conocidos para una o más características de terreno 24.

5 En la acción 114, el sistema de procesamiento de radar 12 combina la pluralidad de imágenes para formar una imagen mejorada del blanco 22. Las imágenes combinadas también pueden proporcionar una información más precisa de la velocidad y rumbo del blanco 22. En una realización, el sistema de procesamiento de radar 12 usa un filtro de Kalman en el que cada imagen resultante aumenta una matriz para calcular la dirección y el rumbo del blanco 22. En otra realización, el filtro de Kalman también puede usarse para correlacionar la dirección y el rumbo del blanco 22 entre diferentes sistemas de coordenadas.

10 Cada una de las acciones descritas anteriormente puede llevarse a cabo repetidamente durante el funcionamiento del sistema de seguimiento por radar 10. Es decir, cada una de las acciones 104 a 114 puede llevarse a cabo tras la adquisición de cada imagen del radar 14. Cuando ya no se necesita o desea el funcionamiento del sistema de seguimiento por radar 10, el proceso finaliza en la acción 116.

15 Pueden realizarse modificaciones, adiciones u omisiones en el procedimiento sin apartarse del alcance de la divulgación. El procedimiento puede incluir más, menos u otras acciones. Por ejemplo, el sistema de procesamiento de radar 12 puede usar cualquiera del uno o más factores de corrección descritos anteriormente para mejorar la precisión de las imágenes obtenidas mediante el sistema de seguimiento por radar 10. El uso de los factores de corrección descritos anteriormente puede proporcionar imágenes relativamente buenas usando radares monocanal que son explorados físicamente en un modo de radar de apertura sintética inversa en algunas realizaciones.

20 Aunque la presente invención se ha descrito con varias realizaciones, múltiples cambios, variaciones, alteraciones, transformaciones y modificaciones pueden ser sugeridos a un experto en la técnica, y la presente invención pretende abarcar tales cambios, variaciones, alteraciones, transformaciones y modificaciones que estén dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1.- Un sistema de seguimiento por radar (10), que comprende:

un radar (14) que recibe un haz (34) de energía electromagnética reflejada, donde el radar (14) es un receptor monocanal; y

un sistema de procesamiento de radar (12) acoplado al radar (14) y que puede hacerse funcionar para:

explorar el radar (14) a través de un arco (36) que tiene una longitud angular; recibir una pluralidad de imágenes de radar procedentes del radar (14), cada una de la pluralidad de imágenes obtenida en una orientación angular de una pluralidad de orientaciones angulares de una dirección de eje de puntería (40) del haz (34) con respecto a un blanco (22), presentando el blanco (22) una ubicación de blanco que está dentro de la longitud angular del arco (36);

caracterizado porque el sistema de procesamiento de radar puede hacerse funcionar para:

interpolarse cada una de la pluralidad de imágenes de radar a lo largo de una extensión acimutal de cada imagen;

combinarse la pluralidad de imágenes de radar interpoladas para generar una imagen mejorada del blanco (22);

determinarse un factor de corrección de eje de puntería del haz (34) según una ubicación de característica de terreno de una característica de terreno (24) en cada una de la pluralidad de imágenes de radar y una ubicación de característica de terreno conocida de la característica de terreno (24); y

ajustarse la orientación angular de cada una de la pluralidad de imágenes según el factor de corrección de eje de puntería.

2.- El sistema de seguimiento por radar (10) según la reivindicación 1, en el que el sistema de procesamiento de radar (12) puede hacerse funcionar además para seleccionar la longitud angular del arco (36) según una ubicación estimada del blanco (22).

3.- El sistema de seguimiento por radar (10) según la reivindicación 1, en el que el sistema de procesamiento de radar (12) puede hacerse funcionar para ajustar una medición de distancia del blanco (22) desde el radar (14) según un factor de corrección troposférico.

4.- El sistema de seguimiento por radar (10) según la reivindicación 1, en el que cada una de la pluralidad de imágenes comprende una pluralidad de pulsos que representan energía electromagnética reflejada desde el blanco (22), donde el sistema de procesamiento de radar (12) puede hacerse funcionar para determinar un centroide geométrico de la pluralidad de pulsos y estimar la ubicación de blanco según el centroide geométrico determinado.

5.- El sistema de seguimiento por radar (10) según la reivindicación 1, en el que el sistema de procesamiento de radar (12) puede hacerse funcionar para combinar la pluralidad de imágenes de radar usando un filtro de Kalman.

6.- El sistema de seguimiento por radar (10) según la reivindicación 1, en el que el sistema de procesamiento de radar (12) puede hacerse funcionar para recibir una ubicación de radar del radar (14) a partir de un sistema de navegación, recibir uno o más registros (32) que incluyen información asociada a la característica de terreno (24) y determinar la ubicación de característica de terreno conocida según la ubicación de radar y la información asociada a la característica de terreno (24).

7.- El sistema de seguimiento por radar (10) según la reivindicación 1, en el que el sistema de procesamiento de radar (12) puede hacerse funcionar para determinar un factor de corrección de distancia de calibración para el radar (14) comparando una distancia medida de la característica de terreno (24) con una distancia conocida de la característica de terreno (24), y ajustar la distancia medida según el factor de corrección de distancia determinado.

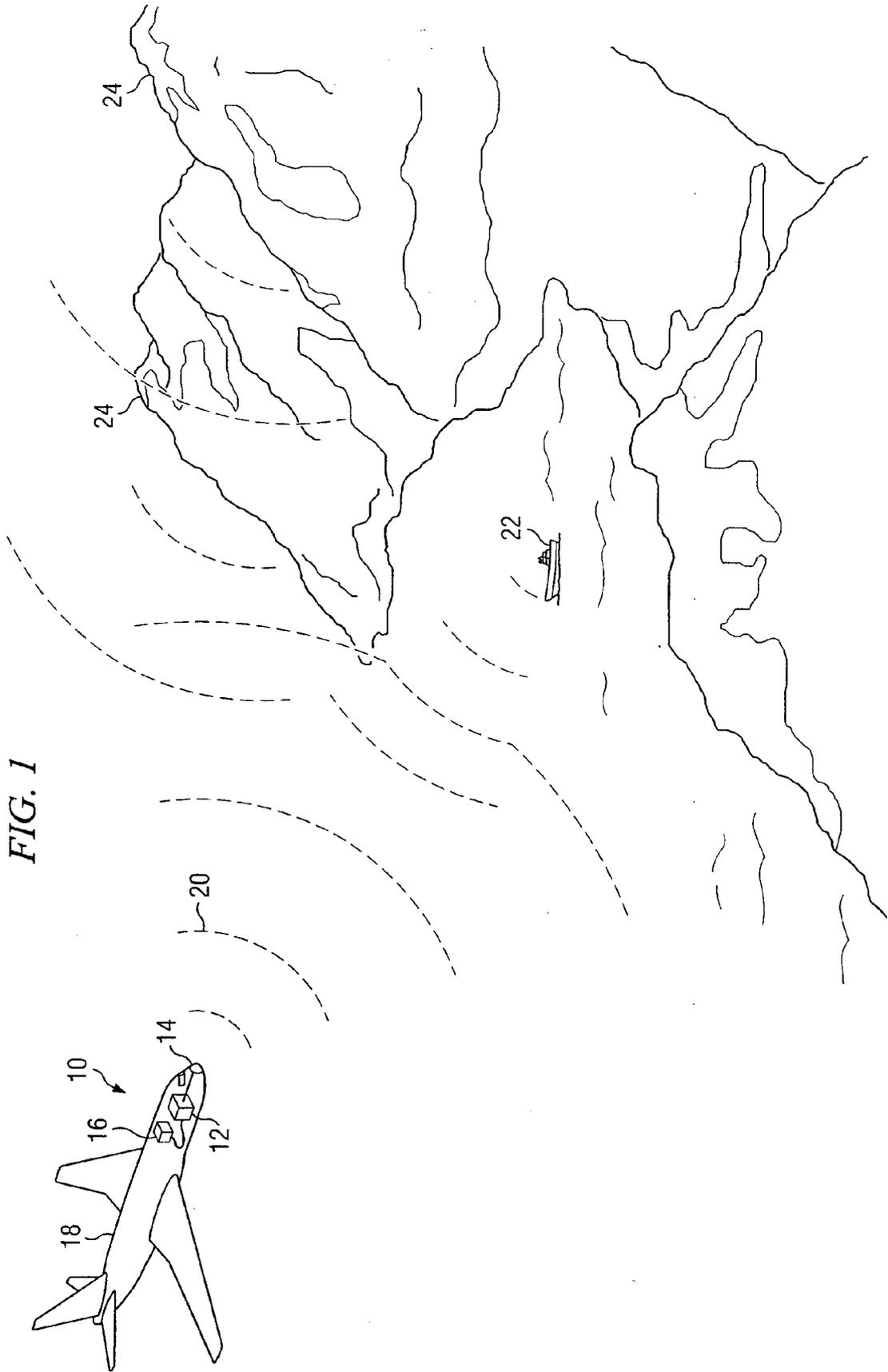
8.- Un procedimiento de seguimiento por radar, que comprende:

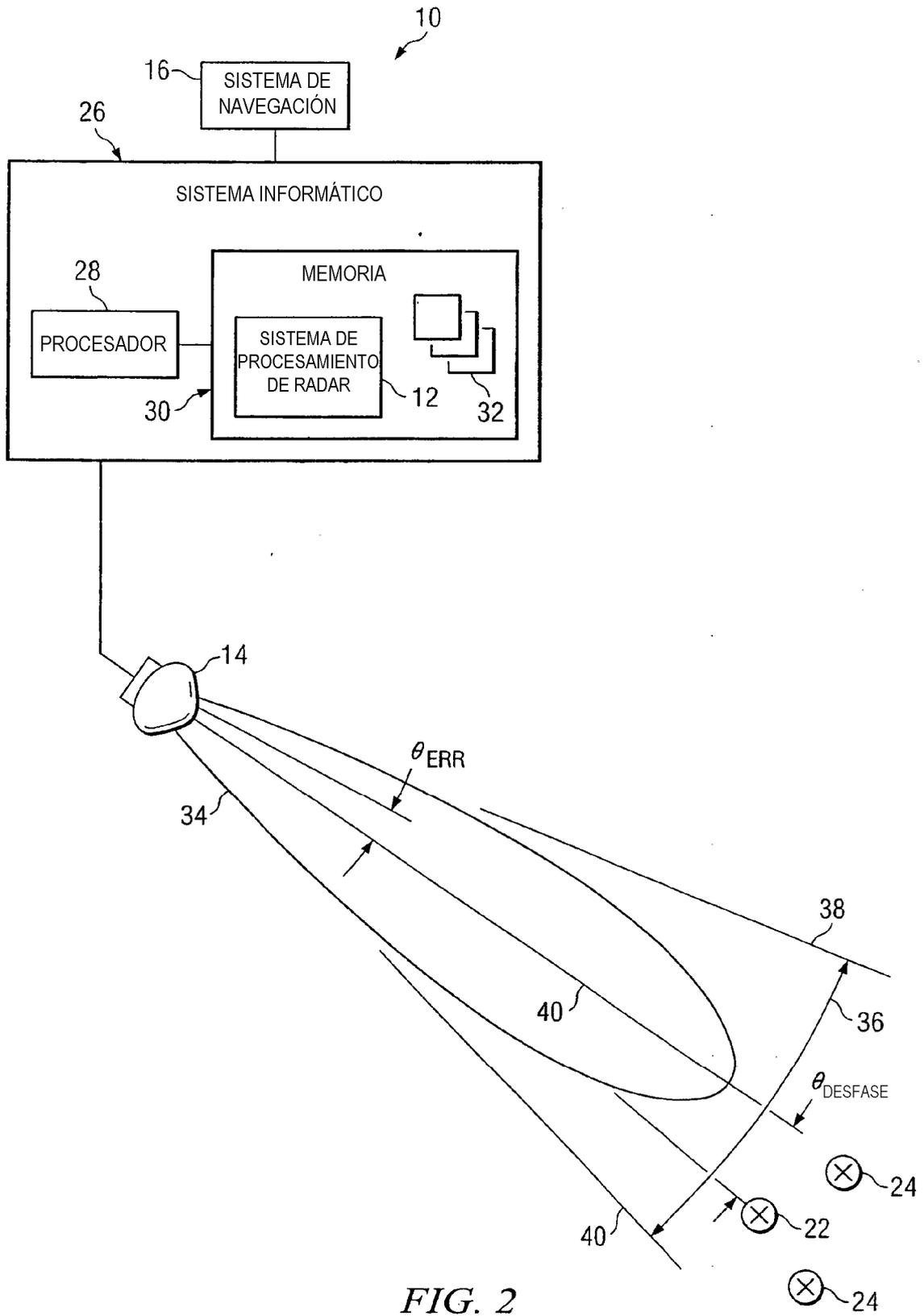
explorar un radar (14) a través de un arco (36) que tiene una longitud angular, recibiendo el radar (14) un haz (34) de energía electromagnética reflejada, comprendiendo el radar un receptor monocanal;

recibir una pluralidad de imágenes de radar procedentes del radar (14), cada una de la pluralidad de imágenes obtenida en una orientación angular de una pluralidad de orientaciones angulares de una dirección de eje de puntería (40) del haz (34) con respecto a un blanco (22), presentando el blanco (22) una ubicación de blanco que está dentro de la longitud angular del arco (36);

caracterizado por:

- interpolarse cada una de la pluralidad de imágenes de radar a lo largo de una extensión acimutal de cada imagen;
- combinarse la pluralidad de imágenes de radar para generar una imagen mejorada del blanco (22);
- 5 determinar un factor de corrección de eje de puntería del haz (34) según una ubicación de característica de terreno de una característica de terreno (24) en cada una de la pluralidad de imágenes de radar y una ubicación de característica de terreno conocida de la característica de terreno (24); y
- ajustarse la orientación angular de cada una de la pluralidad de imágenes según el factor de corrección de eje de puntería.
- 9.- El procedimiento de seguimiento por radar según la reivindicación 8, que comprende además seleccionar la longitud angular del arco (36) según una ubicación estimada del blanco (22).
- 10 10.- El procedimiento de seguimiento por radar según la reivindicación 8, que comprende además ajustar una medición de distancia del blanco (22) desde el radar (14) según un factor de corrección troposférico.
- 11.- El procedimiento de seguimiento por radar según la reivindicación 8, que comprende además determinar un centroide geométrico de una pluralidad de pulsos que representan energía electromagnética reflejada desde el blanco (22), y estimar la ubicación de blanco según el centroide geométrico determinado.
- 15 12.- El procedimiento de seguimiento por radar según la reivindicación 8, en el que combinar la pluralidad de imágenes de radar comprende combinar la pluralidad de imágenes de radar usando un filtro de Kalman.
- 13.- El procedimiento de seguimiento por radar según la reivindicación 8, que comprende además recibir una ubicación de radar del radar (14) a partir de un sistema de navegación, recibir uno o más registros (32) que incluyen información asociada a la característica de terreno (24) y determinar la ubicación de característica de terreno conocida según la ubicación de radar y la información asociada a la característica de terreno (24).
- 20 14.- El procedimiento de seguimiento por radar según la reivindicación 8, que comprende además determinar un factor de corrección de distancia de calibración para el radar (14) comparando una distancia medida de la característica de terreno (24) con una distancia conocida de la característica de terreno (24), y ajustar la distancia medida según el factor de corrección de distancia determinado.
- 25





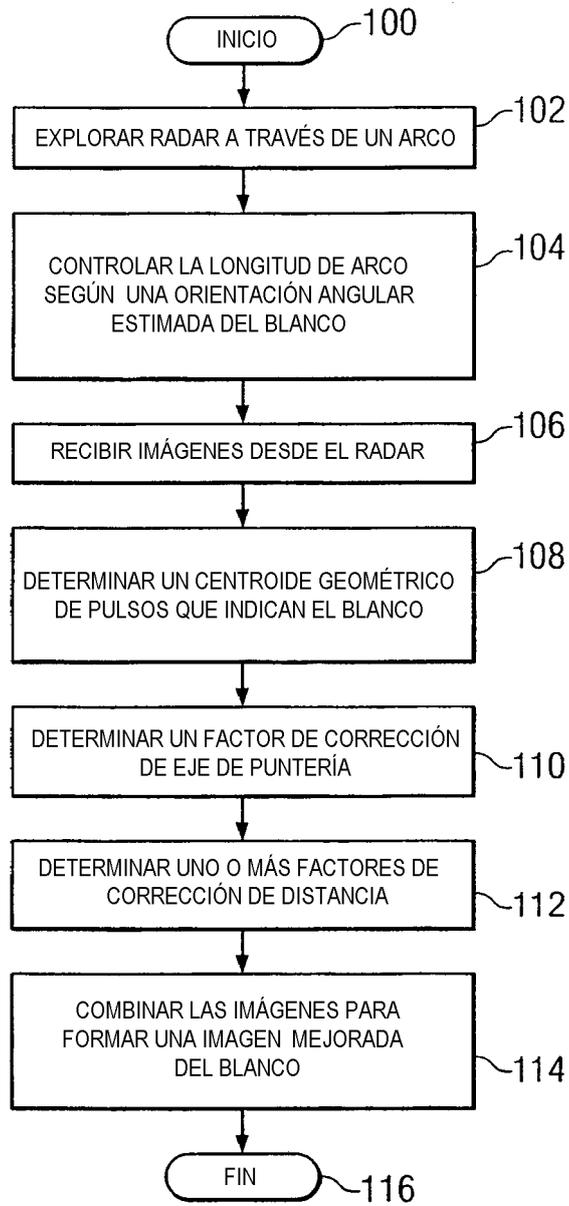


FIG. 3