

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 656 402**

51 Int. Cl.:

G01S 13/00 (2006.01)

G01S 13/87 (2006.01)

G01S 13/72 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.07.2009 PCT/EP2009/058769**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.01.2011 WO11003453**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.07.2009 E 09780391 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.11.2017 EP 2452204**

54 Título: **Procesamiento de datos multiobjetivo para radares pasivos multiestáticos y multicanales**

30 Prioridad:

08.07.2009 FR 0803882

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

27.02.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ALLAM, SÉBASTIEN;
GREVERIE, WILFRIED;
DE GRAMONT, EMMANUEL;
DELTOUR, JEAN-CLAUDE y
KLEIN, MATHIEU**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 656 402 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

Procesamiento de datos multiobjetivo para radares pasivos multiestáticos y multicanales

5 La presente invención se refiere al campo del rastreo por radar y, en particular al campo de los sistemas multiestáticos que implementan un radar pasivo y varios emisores de oportunidades que forman con este radar diferentes bases biestáticas. Se refiere más particularmente a los sistemas que incluyen los radares pasivos con múltiples de ellos. Un sistema de ese tipo se divulga por ejemplo en la solicitud de patente US2004/075605. Cuando se efectúa la cobertura por radar de una zona geográfica dada con ayuda de un radar pasivo, el principal problema que se presenta consiste en la dificultad que se encuentra para utilizar de manera conjunta las informaciones elaboradas a partir de las señales recibidas, sabiendo que estas señales pueden tener por origen uno u otro de los emisores de oportunidad cuyas emisiones cubren parcial o totalmente la zona observada por el radar.

10 De manera general estas informaciones se materializan, de manera conocida, en la forma de rastros que representan la progresión observada de los objetos de interés detectados por el radar.

15 Igualmente de manera general, los rastros elaborados por el radar se mantienen por las marcaciones proporcionadas de manera periódica por el radar considerado. Una marcación, representa las informaciones extraídas de las señales recibidas. Estas informaciones son en particular las informaciones de velocidad y de posición, relativas para un instante de medida dado a las características de un objeto detectado por este radar. El conjunto de las marcaciones sucesivas constituye un hilo del tiempo para un mismo objeto detectado se ha utilizado para formar y mantener el rastro en sí mismo. Un rastro puede ser utilizado de manera manual por medio de un sistema de visualización, o de manera automática. De esa manera, a cada instante de medida el radar recibe unas señales que proceden de uno u otro de los emisores de oportunidad, emitiendo cada emisor en una banda de frecuencias generalmente distinta. Esta banda es susceptible por otro lado estar compuesta por varias sub-bandas disjuntas, o canales, utilizadas simultáneamente por el emisor. En un caso así el receptor del radar forma un número de canales de recepción apropiado para la recepción del conjunto de los canales cubiertos por el conjunto de los emisores.

25 De manera conocida, el radar trata a continuación por separado la señal recibida en cada canal y elabora, para cada canal y para cada objeto detectado, una marcación que se asocia si es necesario a las marcaciones relativas al mismo objeto y elaboradas en los instantes de medida precedentes. La sucesión de las marcaciones constituye un rastro relativo al objeto detectado para el canal considerado.

30 Como resultado, un mismo objeto que se encuentre en una parte del espacio cubierta por las emisiones de varios emisores de oportunidad, puede ser detectado por el radar en varios canales de recepción. De ese modo, combinando las informaciones elaboradas a partir de los diferentes canales de recepción, es posible afinar la determinación de los parámetros que caracterizan el objeto detectado.

Una gestión correcta del espacio consiste por tanto en particular en detectar los rastros que corresponden a un mismo objeto y en asociar estos rastros para beneficiarse de su complementariedad en términos de información.

35 Sin embargo, la combinación de estas diferentes observaciones no es inmediata. En efecto, el radar pasivo forma con cada emisor de oportunidad una base biestática independiente de las otras bases, y las informaciones elaboradas, las informaciones de posición y de velocidad principalmente, se referencian en el marco "emisor-radar" asociada a esta base. Como resultado, para efectuar un aprovechamiento conjunto de las informaciones elaboradas por cada una de las bases biestáticas y relativas a un mismo objeto, es necesario determinar cuáles de las informaciones disponibles pueden atribuirse a este mismo objeto y pueden, en consecuencia, asociarse.

40 El problema general planteado consiste por tanto en encontrar un medio para realizar de manera automática la asociación de las marcaciones biestáticas proporcionadas en los diferentes canales de recepción, y/o diferentes bases biestáticas, que corresponden a un mismo objeto, y suministrar al órgano de gestión del radar un conjunto de rastros globales en el que cada rastro represente un objeto diferente.

45 Un objeto de la invención es resolver este problema para poder realizar unos sistemas de detección formados por radares pasivos que se aprovechan de las emisiones que emanan de emisores de oportunidad y que pueden cubrir la zona de detección considerada.

50 Con este fin la invención tiene por objeto un procedimiento de rastreo para sistemas de radares pasivos multicanales según la reivindicación 1. El procedimiento según la invención permite ventajosamente resolver el problema del rastreo multiobjetivo para los radares pasivos multicanales, que trabajan simultáneamente con varios emisores de oportunidades. Permite ventajosamente efectuar la fusión de las informaciones de detección relativas a un mismo objeto y elaboradas a partir de las señales que emanan de diferentes emisores de oportunidades, permitiendo la fusión producir una representación clara de la situación aérea alrededor del radar.

55 Las características y ventajas de la invención se preservan mejor gracias la descripción que sigue, descripción que se apoya en las figuras adjuntas, figuras que representan:

- la figura 1, una ilustración esquemática de una base de radar biestática;
- la figura 2, un sinóptico general del procedimiento según la invención;
- la figura 3, un sinóptico general de la etapa de creación de marcaciones fusionadas a partir de marcaciones elementales;
- 5 - la figura 4, un sinóptico de la etapa de constitución de los rastros elementales;
- la figura 5, un sinóptico del secuenciamiento de la etapa de constitución de los rastros elementales;
- la figura 6, un sinóptico general de la etapa de fusión posterior del procedimiento según la invención;
- la figura 7, un sinóptico del secuenciamiento de la etapa de fusión posterior.

10 Con el objeto de facilitar la lectura de la descripción de la invención, se recuerda en un primer tiempo, ciertas nociones relativas a los radares biestáticos y la naturaleza de las medidas realizadas por esta familia de radares. La figura 1 presenta la geometría de un dispositivo de ese tipo.

15 El tratamiento aplicado a la señal, implementado por un radar biestático, permite medir simultáneamente, por medio de un análisis distancia/Doppler, el retardo y la desviación de frecuencia entre la señal emitida por el emisor y la señal reflejada por el objeto detectado C, u objetivo. El retardo es homogéneo a la distancia biestática definida por la relación $r_b \doteq R_T + R_R$ y la desviación de frecuencia es homogénea a la velocidad biestática definida por la relación $v_b \doteq \dot{R}_T + \dot{R}_R$. Este procesamiento permite igualmente restablecer una estimación del ángulo θ de llegada de la señal reflejada por el objetivo C.

20 Cada una de las tres medidas (r_b , v_b y θ), que forman las componentes de un vector de medida $y = [r_b \ v_b \ \theta]'$, al estar por principio potencialmente afectadas por un error, se añade una precisión σ a cada una de ellas. Las informaciones producidas por el procesamiento de la señal son por tanto:

- la distancia biestática: (r_b , σ_{r_b}),
- la velocidad biestática: (v_b , σ_{v_b}),
- el azimut: (θ , σ_θ).

25 La distancia biestática r_b , corresponde por definición a la suma del trayecto emisor-objetivo R_T y del trayecto objetivo-receptor R_R . Se añade a la posición X^t del objetivo por la relación siguiente:

$$r_b = R_T + R_R = \left\| X^t - X^{T_x} \right\|_2 + \left\| X^t - X^{R_x} \right\|_2 \quad [1]$$

en la que:

- $X^{T_x} = [x^{T_x} \ y^{T_x} \ z^{T_x}]'$ es el vector de posición del emisor,
- $X^{R_x} = [x^{R_x} \ y^{R_x} \ z^{R_x}]'$ es el vector de posición del receptor, y
- 30 - $X^t = [x^t \ y^t \ z^t]'$ es el vector de posición del objeto detectado (u objetivo) en el instante t.

(Se recuerda que la magnitud M' designa la traspuesta de la magnitud M)

El marco de referencia utilizado para la medida de los componentes de los diferentes sectores es en este caso, como se representa en la figura 1, el marco cartesiano (R_x , x , y , z), centrado sobre el receptor y en el que el eje z representa la altitud.

35 La velocidad biestática v_b corresponde de forma conocida a la derivada de la distancia biestática r_b . Se define por la relación siguiente:

$$v_b = \dot{R}_T + \dot{R}_R = \frac{\left(X^t - X^{T_x} \right) \cdot v^t}{\left\| X^t - X^{T_x} \right\|_2} + \frac{\left(X^t - X^{R_x} \right) \cdot v^t}{\left\| X^t - X^{R_x} \right\|_2} \quad [2]$$

En la que $v^t = [v_x^t \ v_y^t \ v_z^t]'$ es el vector de velocidad del objeto detectado (es decir, el objetivo), en el instante t, en el marco de referencia.

40 El azimut del objeto detectado se escribe por su parte:

$$\theta = \text{atan} \left(\frac{y^t - y^{R_x}}{x^t - x^{R_x}} \right) \quad [3]$$

Cada componente medido está, por principio, afectado por un error que puede modelizarse por un ruido auditivo gaussiano centrado en la matriz de covarianza R. Los errores en cada uno de los componentes se consideran en este caso como independientes entre sí, de manera que la matriz de covarianza del ruido de medida es una matriz diagonal, construida a partir de las precisiones de medida proporcionadas por el tratamiento de la señal y definidas como sigue:

$$R = \begin{pmatrix} \sigma_{r_b}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{v_b}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\theta}^2 \end{pmatrix} \quad [4]$$

En la medida en la que se dispone para cubrir el espacio observado de varios emisores de oportunidad, es posible además constituir varias bases biestáticas con un mismo radar pasivo. En este caso, un mismo objetivo que evoluciona en el espacio cubierto, puede caracterizarse por varias medidas de distancia biestática $(r_b^1, r_b^2, \dots, r_b^n)$

10 y de velocidad biestática $(v_b^1, v_b^2, \dots, v_b^n)$; estando referenciada cada medida en una de las bases biestáticas formadas y realizándose simultáneamente las medidas sobre los diferentes canales de recepción.

La figura 2 presenta un sinóptico general del procedimiento según la invención tal como puede implementarse por un radar pasivo multi-estático que aproveche las emisiones de varios emisores de oportunidad. El radar forma en este caso con cada emisor una base biestática propia. Como lo ilustra esta figura, el procedimiento según la invención incluye dos etapas principales:

- una primera etapa 23 de fusión anterior para formar, para cada base biestática, un conjunto de rastros elementales; resultante cada rastro elemental de la aplicación de una operación 22 de fusión de las marcaciones elementales elaboradas sobre los diferentes canales 21 de recepción de la misma base biestática y relativas al mismo objeto detectado;
- 20 - una segunda etapa 24 de fusión posterior para formar unos rastros 26 globales, siendo construido cada rastro global por la fusión de los rastros 25 elementales proporcionados por las diferentes bases biestáticas y relativos al mismo objetivo.

De tal manera, el procedimiento según la invención trata las marcaciones elaborados en dos tiempos, un primer tiempo durante el que se considera por separado cada base biestática, siendo reagrupadas las marcaciones elementales elaboradas a partir de los diferentes canales 21 de recepción para formar unas marcaciones fusionadas que sirven para constituir unos rastros elementales, y un segundo tiempo durante el que los rastros elementales elaborados por diferentes bases biestáticas se asocian para formar unos rastros globales, correspondiendo cada rastro global a un objeto detectado diferente.

Se consideran a continuación las figuras 3, 4 y 5 que ilustran el principio de funcionamiento de la etapa 23 principal, del procedimiento según la invención, etapa denominada "de fusión anterior". El objeto de esta etapa es fusionar las medidas procedentes de varios canales de frecuencia distintos y procedentes del mismo emisor (o por omisión de emisores localizados conjuntamente). Esta etapa de fusión, realizada sobre el conjunto de los tres componentes del vector de observación (r_b, v_b, θ) que caracterizan el objetivo, es posible debido a que las medidas que constituyen las marcaciones extraídas de las señales procedentes de estos canales son resultado de la misma base biestática y se construyen por lo tanto a partir de la observación, en un instante dado, de una misma situación aérea. Permite ventajosamente mejorar la precisión de la observación de un objetivo que haya respondido simultáneamente en varios canales de una misma base biestática.

Como lo ilustra la figura 2, la etapa 23 de fusión anterior trata cada base biestática por separado de las otras para formar unos rastros elementales a partir de las marcaciones elementales elaboradas por los diferentes canales de recepción que incluyen la base biestática considerada. Con este fin implementa inicialmente, para cada base biestática, una operación de rastreo elemental 22 que se descompone a su vez en dos operaciones sucesivas:

- una primera operación 221 de formación de marcaciones fusionadas a partir de las marcaciones elementales elaboradas sobre cada canal de recepción.
- 45 - una segunda operación 222 de rastreo para formar unos rastros elementales por asociación en el transcurso del tiempo de las marcaciones fusionadas elaboradas en el transcurso del tiempo y relativas al mismo objetivo.

La operación 221 de formación de las marcaciones fusionadas se ejecuta a su vez, como lo ilustra la figura 3, en tres etapas:

- un primer módulo 31 de agregación, que consiste en agrupar las marcaciones elementales formadas sobre los diferentes canales 21 para realizar unos agregados, estando constituido un agregado por marcaciones que presentan unas características próximas y verosimilmente relativas al mismo objetivo.
- 50 - un segundo módulo 32 de fusión de las medidas que constituyen las marcaciones elementales agregadas, de

- manera que constituyan las marcaciones fusionadas.
- un tercer módulo de supresión de las marcaciones fusionadas elaboradas y cuya realidad es poco probable.

El algoritmo de agregación según la invención, implementado por el módulo 31, busca, entre todas las marcaciones elementales elaboradas a partir de las señales de los diferentes canales de recepción de una misma base biestática, aquellas que pueden asociarse en el sentido del criterio de proximidad siguiente:

5 “Dos marcaciones (p1, p2) se considera que deben estar asociadas si se verifican simultáneamente las tres ecuaciones siguientes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left[r_b^{p1} - 2\sigma_{r_b^{p1}}; r_b^{p1} + 2\sigma_{r_b^{p1}} \right] \cap \left[r_b^{p2} - 2\sigma_{r_b^{p2}}; r_b^{p2} + 2\sigma_{r_b^{p2}} \right] \neq \emptyset \\ \left[v_b^{p1} - 2\sigma_{v_b^{p1}}; v_b^{p1} + 2\sigma_{v_b^{p1}} \right] \cap \left[v_b^{p2} - 2\sigma_{v_b^{p2}}; v_b^{p2} + 2\sigma_{v_b^{p2}} \right] \neq \emptyset \\ \left[\theta^{p1} - 2\sigma_{\theta^{p1}}; \theta^{p1} + 2\sigma_{\theta^{p1}} \right] \cap \left[\theta^{p2} - 2\sigma_{\theta^{p2}}; \theta^{p2} + 2\sigma_{\theta^{p2}} \right] \neq \emptyset \end{array} \right. \quad [5]$$

10 Se ha de observar que la validez de este criterio de asociación se basa únicamente en la precisión de cada componente del vector de medida asociado a la marcación considerada. Suponiendo además el ruido de medida independiente y gaussiano centrado, la asociación de las marcaciones elementales basada en este criterio se convierte, de forma conocida, en abrir unas ventanas de asociación que corresponden a un intervalo de confianza del 95 %.

15 La técnica de fusión implementada por el módulo 32 consiste, por su parte, en asociar una pseudo-medida a cada marcación fusionada obtenida. Esta pseudo-medida se determina a partir de las medidas (y_j, R_j) correspondientes a las K marcaciones elementales agregadas, calculando (operación 33) la suma ponderada siguiente:

$$y = R \sum_{j=1}^K R_j^{-1} y_j \quad [6]$$

En la que R es la matriz definida por:

$$R = \left(\sum_{j=1}^K R_j^{-1} \right)^{-1} \quad [7]$$

20 La utilización de esta regla de fusión permite ventajosamente tener en cuenta unas precisiones relativas de las medidas asociadas. Así cuanto más imprecisa sea una medida menos contribuye a la elaboración de la medida fusionada.

25 El módulo 32 proporciona por tanto, para cada objetivo detectado y para cada base biestática, una medida sintética resultado de las medidas que constituyen las marcaciones elementales elaboradas a partir de las señales recibidas en los diferentes canales 21. En este estado la noción de canal de recepción desaparece en beneficio de la noción de base biestática. Cada base biestática, es decir cada base constituida por el receptor de radar R_x y un emisor de oportunidad T_{xi} dado, proporciona para cada instante de medida un juego de marcaciones fusionadas correspondiendo cada una a un objetivo potencial.

30 Sin embargo, para limitar el número de marcaciones y no mantener más que las marcaciones pertinentes, el procedimiento según la invención incluye ventajosamente un módulo 34 complementario que atribuye una puntuación a cada una de las marcaciones fusionadas producidas por el módulo 32. Según la invención, la puntuación atribuida a una marcación fusionada es igual al número de canales de recepción para los que se ha detectado el objetivo correspondiente. A continuación, la regla de aceptación o rechazo de las marcaciones se define como sigue:

- 35 - Para un número de canales igual a 2, se conservan todas las marcaciones, comprendidas en ellas las marcaciones elementales que no se hayan podido fusionar con otras marcaciones.
- Para un número de canales n superior a 2, solo se conservan las marcaciones fusionadas que hayan alcanzado una puntuación de n-p. El término p es en este caso un parámetro regulable para tener en cuenta la potencia del emisor considerado, así como su tasa de falsas alarmas deseada.

De ese modo el módulo 34 produce, para cada instante de medidas discretizado k una lista de marcaciones 35 fusionadas que permitirá la elaboración de rastros elementales.

La operación 222 de rastreo presentada en la figura 2, tiene por objeto buscar la presencia de objetivos en los datos resultantes de la misma base biestática. Para hacer esto se realiza la asociación en el transcurso del tiempo de las marcaciones fusionadas 35 que pueden representar un mismo objetivo. Esta operación 222 permite ventajosamente:

- eliminar las falsas alarmas residuales (y, debido a ello, no transmitir a la etapa de fusión posterior más que las informaciones pertinentes);
- compensar, por predicción, una falta momentánea de marcación fusionada para mantener un rastro;
- alisar las medidas a través de un modelo de dinámica y evitar de ese modo los datos aberrantes.

Se recuerda en este caso, que una marcación puede considerarse como el conjunto de los valores en el instante k considerado, de los parámetros de medida relativos al objetivo detectado. En lo que sigue el estado en el instante k del rastro elemental asociado a la materialización de la evolución del objetivo considerado, se define por el valor del vector de estado asociado a este rastro, vector cuyos componentes son la distancia, la velocidad y la aceleración biestáticas así como el azimut y su derivada. Este rastro se mantiene después del aprovechamiento de la información procedente de la marcación fusionada que se le asocia en ese instante.

Como lo ilustra la figura 4, esta operación se realiza mediante la implementación de manera interactiva, para cada instante de medida k , de los módulos de procesamiento siguientes:

- un módulo 41 de gestión encargado del secuenciamiento del conjunto y que orquesta los otros módulos de procesamiento.
- un módulo 42 de inicialización de rastros elementales;
- un módulo 43 de asociación de datos, encargado de identificar las asociaciones más verosímiles entre las marcaciones fusionadas constituidas y los rastros elementales en curso;
- un módulo 44 de rastreo propiamente dicho, que realiza las funciones de filtrado y de predicción que permiten en particular predecir el valor tomado por un rastro elemental dado en el instante de medida a realizar.

El secuenciamiento realizado por el módulo 41 de gestión se ilustra por la figura 5. Consiste en encadenar las tareas realizadas por los otros módulos con el ritmo de aparición de las marcaciones fusionadas, sirviendo las marcaciones fusionadas elaboradas en un instante k dado para inicializar unos rastros elementales nuevos o para mantener (prolongar) unos rastros elementales ya existentes.

Según la invención, el módulo 41 de gestión está igualmente encargado de la elaboración y de la actualización del estado de los rastros elementales formados. Con este fin procede a la atribución de una puntuación (nivel de verosimilitud) a los rastros elementales y a la eliminación de los rastros menos probables. Con este fin, implementa las reglas siguientes:

- se atribuye una puntuación de partida a cada rastro. Esta puntuación es proporcional al número de canales de frecuencia a partir de los que se ha elaborado la marcación fusionada que ha servido para la inicialización del rastro considerado.
- la puntuación inicial atribuida, evoluciona con el número de canales a partir de los que se elabora la marcación fusionada obtenida en el instante k en curso y disminuye a partir de que el mantenimiento del rastro se efectúe en modo predicción, implementándose el modo predicción a partir del instante en el que no puede utilizarse ninguna marcación fusionada para mantener el rastro considerado. Más allá del número definido de ciclos de funcionamiento en modo de predicción, el rastro elemental predicho se cierra y se libera su número de identificación de manera que pueda ser reatribuido a un nuevo rastro elemental.

Según un modo de implementación particular, la puntuación puede afectarse por un factor de penalización, en particular, por ejemplo, si surgen dificultades durante la fase de asociación (dificultades en tomar una decisión de asociación). Este último mecanismo permite ventajosamente tener una imagen de la confianza en armonizar con la realidad del rastro correspondiente.

Igualmente según la invención, el módulo 43 de asociación de datos tiene como papel buscar las correspondencias entre las nuevas observaciones (es decir las nuevas marcaciones fusionadas) obtenidas en un instante k , y los rastros elementales en curso. Estos rastros en curso se han establecido a partir de las marcaciones fusionadas elaboradas en los instantes de medida precedentes. El método de asociación mantenido se deriva del método conocido bajo el nombre de "método de los vecinos contiguos". Su principio se basa en la utilización de un criterio de asociación que permita restringir el árbol de las hipótesis de asociación a la hipótesis más probable.

El criterio de asociación se basa en una medida de la distancia estadística entre las observaciones predichas para un instante k (marcaciones fusionadas predichas) por el módulo 44 de rastreo para los rastros elementales en curso de mantenimiento y las observaciones, es decir las marcaciones fusionadas efectivamente disponibles en el instante k .

Dicho de otra manera, si se considera la situación en un instante k en el que se tienen n_t rastros mantenidos y n_y observaciones (n_y marcaciones fusionadas) disponibles, y si se considera $\left(y_k^j, R_k^j\right)$ la j-ésima observación (el j-ésima marcación fusionada) y su covarianza, de modo que $\left(\tilde{x}_k^t, \tilde{\Sigma}_{x_k^t}\right)$ la estimada del estado del t-ésimo rastro y su covarianza, el principio de asociación seguido consiste en calcular para todas las combinaciones (t, j) una distancia $d_k^{t,j}$, homogénea de la verosimilitud de la medida precisa t, conociendo la observación j $\left(E\left[y_k^j \mid x_k^t\right]\right)$.

Esta distancia estadística se obtiene calculando la innovación del rastro t, bajo una hipótesis de vector de medida y_k^j tiene por expresión:

$$d_k^{t,j} = \left(l_k^{t,j}\right)' \Sigma_{l_k^{t,j}}^{-1} l_k^{t,j} \quad [8]$$

En la que la innovación $l_k^{t,j}$ tiene por expresión:

$$l_k^{t,j} = y_k^j - H \tilde{x}_k^t \quad [9]$$

y la covarianza de la innovación $\Sigma_{l_k^{t,j}}$ tiene por expresión:

$$\Sigma_{l_k^{t,j}} = H \tilde{\Sigma}_{x_k^t} H' + R_k^j \quad [10]$$

La matriz H, que representa la matriz de paso del vector de estado del rastro al vector de las medidas, es la matriz definida por la igualdad siguiente:

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad [11]$$

De tal manera, una observación j se considera, según la invención, como asociable a un rastro t a partir de que $d_k^{t,j}$ sea inferior a un umbral y definido por una probabilidad de buena asociación y una ley del χ^2 de 3 grados de libertad. El cálculo sobre el conjunto de las combinaciones (t, j) permite por otro lado construir una matriz de asociación

$\Omega_k = \left\{d_k^{t,j}, t \in [1, n_t], j \in [1, n_y]\right\}$. En lo que sigue, el planteamiento de los vecinos más próximos consiste en no

retener para un rastro t más que la asociación a la observación \hat{j}_t que verifica la igualdad siguiente:

$$\hat{j}_t = \underset{j \in [1, n_y]}{\operatorname{argmin}} \left(d_k^{t,j} \leq \gamma \right) \quad [12]$$

También según la invención, el módulo 42 de inicialización de los rastros elementales procede a partir de dos marcaciones fusionadas sucesivas, p_{k-1} y p_k , atribuibles a un mismo objetivo y no asociadas a un rastro mantenido.

Contrariamente al párrafo anterior, en la fase de inicialización no se dispone de predicción de medida, no existiendo aún el rastro a formar. A continuación, para decidir si dos marcaciones (p_k, p_{k-1}) proceden del mismo objetivo y pueden constituir por tanto un rastro elemental independiente, el procedimiento según la invención implementa un proceso heurístico en tres etapas que se describen de la manera siguiente:

- Primera etapa: se aplica a las marcaciones formadas en el instante k-1 (instante discretizado) y no asociadas a unos rastros elementales una función de propagación que define estas marcaciones en el instante k como sigue (la propagación se realiza sobre el valor nominal y la incertidumbre de los componentes):

$$\begin{cases} \tilde{r}_b^{pk} = r_b^{pk-1} + v_b^{pk-1} (t_k - t_{k-1}) \\ \tilde{v}_b^{pk} = v_b^{pk-1} \\ \tilde{\theta}^{pk} = \tilde{\theta}^{pk-1} \end{cases} \quad [13]$$

y

$$\begin{cases} \sigma_{\tilde{r}_b^{pk}} = \sqrt{\sigma_{r_b^{pk-1}}^2 + (t_k - t_{k-1})^2 \cdot \sigma_{v_b^{pk-1}}^2 + (t_k - t_{k-1})^5 \cdot \sigma_{\tilde{v}}^2/20} \\ \sigma_{\tilde{v}_b^{pk}} = \sqrt{\sigma_{v_b^{pk-1}}^2 + (t_k - t_{k-1})^3 \cdot \sigma_{\tilde{v}}^2/3} \\ \sigma_{\tilde{\theta}^{pk}} = \sqrt{\sigma_{\theta^{pk-1}}^2 + (t_k - t_{k-1})^3 \cdot \sigma_{\omega}^2/3} \end{cases} \quad [14]$$

en la que $\sigma_{\tilde{v}}$ y σ_{ω} son unas constantes asociadas al ruido de modelo del objetivo.

- 5 - Segunda etapa: identificación de las marcaciones compatibles.
Según la invención, se declaran dos marcaciones compatibles si se verifican las tres desigualdades siguientes:

$$\begin{cases} \left| r_b^{pk} - \tilde{r}_b^{pk} \right| \leq 3 \cdot \left(\sigma_{r_b^{pk}} + \sigma_{\tilde{r}_b^{pk}} \right) \\ \left| v_b^{pk} - \tilde{v}_b^{pk} \right| \leq \Delta_{v_b} \\ \left| \theta^{pk} - \tilde{\theta}^{pk} \right| \leq 3 \cdot \left(\sigma_{\theta^{pk}} + \sigma_{\tilde{\theta}^{pk}} \right) \end{cases} \quad [15]$$

- 10 Se observa que en este caso como la componente de velocidad v_b puede determinarse por el radar con precisión y que como un objetivo incluso en vuelo rectilíneo ve variar su velocidad biestática, el procedimiento según la invención, para poder encontrar unas marcaciones sucesivas a asociar, utiliza una ventana de acotación (Δ_{v_b}) relativamente amplia sobre el eje de velocidad. Sin que pueda abrirse ningún rastro nuevo.

- Tercera etapa: inicialización propiamente dicha de un rastro.
La apertura de un rastro elemental nuevo consiste, para el módulo 42 de inicialización, en definir su estado inicial. Según la invención este estado se considera como gaussiano y por tanto totalmente descrito por sus dos primeros momentos. Según el procedimiento de la invención la inicialización se calcula como sigue:

$$x^{inic} = \begin{bmatrix} r_b^{inic} \\ v_b^{inic} \\ \theta^{inic} \\ \omega^{inic} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_b^{pk} \\ v_b^{pk} \\ \left(v_b^{pk} - v_b^{pk-1} \right) / (t_k - t_{k-1}) \\ \theta^{pk} \\ \left(\theta^{pk} - \theta^{pk-1} \right) / (t_k - t_{k-1}) \end{bmatrix} \quad [16]$$

y

$$\Sigma_x^{inic} = \begin{pmatrix} \sigma_{r_b}^{2,pk} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{v_b}^{2,pk} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\gamma_b}^{2,inic} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\theta}^{2,pk} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\omega}^{2,inic} \end{pmatrix} \quad [17]$$

en la que $\sigma_{\gamma_b}^{2,inic}$ y $\sigma_{\omega_b}^{2,inic}$ son unas constantes fijas para permitirle seguir, sin desconexión del filtro, unos objetivos más rápidos de rastrear.

5 Se ha de observar que procediendo de ese modo, el módulo de inicialización puede proceder a la creación de varios rastros elementales a partir de una misma marcación p_k en el instante k . La inicialización puede generar por tanto una sobreabundancia de rastros. Sin embargo, los rastros elementales no mantenidos por unas marcaciones fusionadas posteriores desaparecerán al cabo del tiempo debido a la disminución de su puntuación.

10 El módulo 44 de rastreo tendrá, por su parte, como papel establecer una estimación (con relación a la teoría de la estimación en tiempo discreto) del estado x del objetivo (variable de estado del sistema) promediando un modelo de dinámica y el modelo de observación. Se basa, según la invención, en la utilización de un filtro de Kalman en tiempo discreto, cuyas entradas/salidas se definen como sigue:

- la variable de estado es en este caso el estado de evolución del objetivo considerado, estado modelizado por un proceso aleatorio $\{x_k\}$ de valor en \mathbb{R}^5 , cuyos componentes son: $|r_{b,k} \ v_{b,k} \ \gamma_{b,k} \ \theta_k \ \omega_k|$ y en la que $r_{b,k}$, $v_{b,k}$, $\gamma_{b,k}$, θ_k y ω_k representan respectivamente la distancia biestática [m], la velocidad biestática [m/s], la aceleración biestática [m/s/s], el azimut del objetivo visto desde el receptor [rad] y la velocidad angular del azimut del objetivo [rad/s]
- la evolución de la dinámica del objetivo se representa de manera conocida por el sistema lineal en tiempo discreto siguiente:

$$x_k = Fx_{k-1} + w_k \quad [18]$$

20 en la que el proceso $\{w_k\}$ es un ruido blanco gaussiano centrado, de matriz de covarianza Q supuesta invariable en el tiempo.

Si se indica por T el paso de muestreo, es decir el lapso de tiempo que separa dos instantes de medida, F y Q tienen además respectivamente por expresiones conocidas:

$$F = \begin{pmatrix} 1 & T & T^2/2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad [19]$$

y

$$Q = \sigma_{\gamma}^2 \begin{pmatrix} T^5/20 & T^4/8 & T^3/6 & 0 & 0 \\ T^4/8 & T^3/3 & T^2/2 & 0 & 0 \\ T^3/6 & T^2/2 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \sigma_{\omega}^2 \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & T^3/3 & T^2/2 \\ 0 & 0 & 0 & T^2/2 & T \end{pmatrix} \quad [20]$$

- para una marcación fusionada p_k dada, las medidas proporcionadas en el instante k por la cadena de procesamiento (las variables de observación son, como se ha dicho anteriormente, reunidas en el vector $y_k = [r_{b,k} \ v_{b,k} \ \theta_k]'$ que representa esa marcación. Están afectadas por un error modelizado por un ruido blanco gaussiano centrado $\{v_k\}$ de matriz de covarianza R_k :

$$R_k = \begin{pmatrix} \sigma_{b,k}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{b,k}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\theta_k}^2 \end{pmatrix} \quad [21].$$

En lo que sigue, la ecuación de observación, que modeliza el sensor, se escribe

$$y_k = Hx_k + v_k \quad [22]$$

siendo $H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$.

- 5 En cada instante k , el estado estimado del objetivo se caracterizará por tanto por los dos primeros momentos del proceso $\{x_k\}$, definidas su media condicional \hat{x}_k y su covarianza condicional $\hat{\Sigma}_{x_k}$, por:

$$\hat{x}_k = E \left[x_k \middle| Y^k \right] \quad [23]$$

y

$$\hat{\Sigma}_{x_k} = E \left[(x_k - \hat{x}_k)(x_k - \hat{x}_k)' \middle| Y^k \right] \quad [24]$$

- 10 siendo $Y_k = \{y_j\}_{j=1,\dots,k}$.

Se observará que E representa en este caso la esperanza matemática.

Debido a la linealidad de los modelos, del carácter gaussiano de los ruidos aditivos y bajo una hipótesis de condiciones iniciales gaussianas para el estado, el filtro óptimo para la estimación del estado del objetivo corresponde por tanto al filtro de Kalman definido como sigue:

- 15 - Estado predicho:

$$\tilde{x}_k = E \left[x_k \middle| Y^{k-1} \right] = F\hat{x}_{k-1} \quad [25]$$

- Covarianza predicha:

$$\begin{aligned} \tilde{\Sigma}_{x_k} &= E \left[(x_k - \tilde{x}_k)(x_k - \tilde{x}_k)' \middle| Y^{k-1} \right] \\ &= F\hat{\Sigma}_{x_{k-1}}F' + Q \end{aligned} \quad [26]$$

- Innovación:

20 $i_k = y_k - H\tilde{x}_k \quad [27]$

- Covarianza de innovación:

$$\Sigma_{i_k} = H\tilde{\Sigma}_{x_k}H' + R_k \quad [28]$$

- Ganancia de Kalman:

$$K_k = \Sigma_{x_k}H\Sigma_{i_k}^{-1} \quad [29]$$

- Estado estimado:

$$\hat{x}_k = \tilde{x}_k + K_k i_k \quad [30]$$

- Covarianza del estado estimado:

$$\hat{\Sigma}_{x_k} = (I - K_k H) \tilde{\Sigma}_{x_k} \quad [31]$$

5 La implementación de un filtro de ese tipo permite determinar de ese modo, a partir del estado estimado de un rastro elemental en el instante k-1, el estado predicho de este rastro para el instante k, la medida predicha para el objetivo correspondiente. Esta medida se suministrará al módulo 43 que realizará en el tiempo k la asociación de las marcaciones fusionadas con los rastros elementales existentes. Esta medida predicha permite determinar, si una marcación fusionada disponible en el instante k puede asociarse a un rastro elemental existente. Si ese es el caso
10 esta marcación se aprovechará para estimar el estado del rastro elemental considerado en el instante k.

En la hipótesis de ninguna observación, es decir que no pueda asociarse ninguna marcación fusionada a un rastro elemental dado, este último se tiene en cuenta en un modo de predicción pura, para el que el estado de un rastro en el instante k ya no se determine más que por la ecuación de evolución de la dinámica:

- Estado predicho:

$$15 \quad \tilde{x}_k = F \hat{x}_{k-1}$$

- Covarianza predicha:

$$\tilde{\Sigma}_{x_k} = F \hat{\Sigma}_{x_{k-1}} F' + Q$$

20 Este tipo de toma en consideración cesa tan pronto como es posible una nueva asociación en un instante k dado o incluso cesa por abandono del rastro por el sistema (puntuación demasiado reducida). El módulo 41 de gestión implementa por otro lado una operación de limpieza que consiste en suprimir los rastros no mantenidos o aberrantes.

25 La etapa 222 de formación de los rastros elementales permite asociar por tanto en el transcurso del tiempo estas marcaciones fusionadas producidas por los diferentes canales relativos a una misma base biestática. Esto conduce a la elaboración y al mantenimiento de una tabla de rastros elementales, tabla que contiene principalmente para cada rastro su número, el valor en el instante dado del vector de estado del rastro, así como la puntuación que se le atribuye y que traduce la verosimilitud del rastro. Según la invención, esta tabla se actualiza con cada iteración, es decir para cada nuevo instante k de medida. Los datos actualizados se aprovechan por la etapa siguiente 24 para inicializar y mantener unos rastros globales.

30 Las figuras 6 y 7 ilustran el principio de funcionamiento de la etapa 24 de fusión posterior que constituye la segunda etapa del procedimiento según la invención. La etapa 24 de fusión posterior es la encargada de la fusión del conjunto de los rastros elementales elaborados durante la etapa 23 de fusión anterior, rastros elementales unidos a cada una de las bases biestáticas. El objetivo es producir unas informaciones pertinentes en cuanto a la situación aérea que rodea al radar. En el transcurso de esta etapa, que constituye el núcleo del procesamiento de los datos, se realizan las acciones siguientes:

- 35 - asociar los rastros elementales producidos por las diferentes bases biestáticas para buscar y seleccionar, entre todas las asociaciones inter-bases de rastros elementales posibles, las asociaciones de rastros elementales más verosímiles. Las asociaciones más verosímiles son aquellas que conducen a la formación de un rastro global que corresponde realmente a un objetivo.
- 40 - fusionar las medidas relativas a los rastros elementales asociados para construir unas pseudo-medidas relativas a los rastros globales mantenidos.
- tener al día el estado de los rastros globales formados y hacerles vivir al ritmo de las apariciones/desapariciones de los rastros elementales contribuyentes. El sinóptico de la figura 6 presenta la organización de los diferentes módulos de procesamiento implementados por la etapa de fusión posterior.

45 La arquitectura del tratamiento de fusión posterior se deriva de las arquitecturas conocidas de rastreadores multi-objetivos/multi-detectores. Se distinguen en ella principalmente los módulos siguientes:

- un módulo 62 de inicialización de rastros globales, encargado de proceder a la creación de rastros globales pasando revista a todas las asociaciones posibles de rastros elementales, e identificando las asociaciones más verosímiles.
- 50 - un módulo 63 de asociación de rastros elementales-rastros globales, encargado de asociar unas marcaciones constitutivos de los rastros elementales, a los rastros globales y, si es necesario, adscribir nuevos rastros elementales a un rastro global existente.

- un módulo 64 de localización, encargado de estimar, a partir de las medidas de distancia biestática relativas a los rastros elementales asociados al rastro global considerado, la posición del objetivo en el marco cartesiano de referencia.
- un módulo 65 de rastreo, encargado de estimar la posición y la velocidad (es decir el estado) del objetivo con relación a un vector de observaciones y de un modelo de la dinámica del objetivo
- un módulo 61 de gestión, encargado del secuenciamiento de la implementación de los diferentes módulos y que procede, en cada iteración, a la limpieza de los rastros globales muertos y/o aberrantes.

El secuenciamiento del conjunto de la fase de fusión posterior, ilustrado por la figura 7, se realiza por el módulo 61 de gestión. Consiste esencialmente, de manera clásica, en encadenar de manera iterativa las tareas realizadas por los módulos 62, 63 y 64 al ritmo de los instantes k de elaboración de las marcaciones fusionadas que constituyen los rastros elementales.

Según la invención, el módulo 61 de gestión se encarga igualmente de la elaboración y del mantenimiento de la tabla de los rastros globales. De este modo atribuye un número a cada rastro fusionado global formado. Este número se atribuye al rastro considerado durante toda la duración de su existencia. Procede igualmente a la atribución de una puntuación (nivel de verosimilitud) a cada uno de los rastros globales mantenidos. Según la invención, la puntuación atribuida a un rastro global corresponde por ejemplo a la suma de las puntuaciones de los rastros elementales que contribuyen a su mantenimiento. Como consecuencia, la desaparición del conjunto de los rastros elementales que alimentan un rastro global conduce a una anulación de la puntuación del rastro global considerado y a la implementación de un procedimiento de predicción puro del estado de este rastro. Más allá de un cierto número de iteraciones sin mejora de la puntuación, el rastro global es abandonado y el módulo de gestión lo elimina de la tabla de los rastros globales. Su número está entonces disponible para ser atribuido a un rastro formado posteriormente.

El módulo 62 de inicialización aprovecha los rastros de la lista de los rastros elementales que no hayan sido objeto de una asociación con un rastro global, o incluso aquellos que, habiendo sido excluidos de una asociación anterior, no han podido asociarse a ningún otro rastro global existente. Como se ha dicho anteriormente, cualquier rastro global se inicializa por asociación de dos rastros elementales elaborados a partir de dos bases biestáticas distintas.

Según la invención, la inicialización de un rastro global se descompone en cinco etapas realizadas en el orden siguiente:

- primera etapa: ensayo de la coherencia en azimut de los rastros elementales candidatos a asociación;
- segunda etapa: ensayo de coherencia en distancia de los rastros elementales candidatos;
- tercera etapa: ensayo de coherencia en velocidad de los rastros elementales candidatos;
- cuarta etapa: inicialización de un rastro global;
- quinta etapa: extensión del número de rastros elementales contribuyentes (es decir del número de bases biestáticas) del rastro global nuevamente creado.

Los ensayos de las tres primeras etapas se realizan sobre las marcaciones que representan el estado de los rastros elementales considerados en un instante k dado. Estas tres etapas se realizan secuencialmente, se condiciona el paso de una etapa a la siguiente por el éxito del ensayo asociado a la etapa en curso. Constituyen en conjunto el ensayo de verosimilitud de la asociación, ensayo cuyo resultado condiciona la ejecución de la cuarta y de la quinta etapas.

Según la invención, la primera etapa aprovecha la coherencia en azimut de los rastros elementales candidatos. Se implementa un primer ensayo (ensayo n.º 1) que consiste en calcular la desviación de azimut ($|\theta_{P_{Tx_i}} - \theta_{P_{Tx_j}}|$) entre las marcaciones extremas, en el instante k , de los dos rastros elementales candidatos P_{Tx_i} y P_{Tx_j} . Si esta desviación es superior al valor fijado, se detiene el procedimiento de inicialización, si no se realiza la etapa siguiente. Este primer ensayo permite eliminar instantáneamente las tentativas de asociación no consistentes (asociaciones no verosímiles).

Según la invención, la segunda etapa analiza la coherencia en distancias de los rastros candidatos a una asociación. Implementa un segundo ensayo (ensayo n.º 2) para determinar la verosimilitud de la asociación planteada. Esta segunda etapa que efectúa la localización de estas dos marcaciones a partir de los azimuts y de las distancias biestáticas, se divide en dos partes:

- la primera parte consiste en verificar rápidamente si los dos elipsoides asociados a los dos rastros elementales se cruzan en el sector angular correspondiente a su azimut medio y, si es así, cuál es la posición (x, y, z) de este cruce.

Esta verificación consiste, bajo una hipótesis de emisor y receptor coplanares, en encontrar, si existe, la solución del sistema:

$$\frac{R_b^{P_{Txi}^2} - L_i^2}{2\left(R_b^{P_{Txi}^2} - L_i \cos(\tilde{\theta} - \theta_i)\cos(\phi)\right)} - \frac{R_b^{P_{Txj}^2} - L_j^2}{2\left(R_b^{P_{Txj}^2} - L_j \cos(\tilde{\theta} - \theta_j)\cos(\phi)\right)} = 0 \quad [32]$$

en la que $\left(R_b^{P_{Txi}^2}, R_b^{P_{Txj}^2}\right)$ representan las distancias biestáticas de las marcaciones extremas de los rastros elementales candidatos P_{Txi} y P_{Txj} . $\tilde{\theta}$ el azimut medio de estas marcaciones, (L_i, L_j) las distancias emisores-receptores de las bases biestáticas desde las que proceden los rastros elementales candidatos y (θ_i, θ_j) los azimuts bajo los que son vistos por los receptores los emisores de estas mismas bases biestáticas.

La solución de este sistema se escribe:

$$\cos(\phi) = \frac{2\left(R_b^{P_{Txi}^2} - L_i^2\right)R_b^{P_{Txj}^2} - 2\left(R_b^{P_{Txj}^2} - L_j^2\right)R_b^{P_{Txi}^2}}{2\left(R_b^{P_{Txi}^2} - L_i^2\right)L_j \cos(\tilde{\theta} - \theta_j) - 2\left(R_b^{P_{Txj}^2} - L_j^2\right)L_i \cos(\tilde{\theta} - \theta_i)} \quad [33]$$

En lo que sigue, una primera estimación de la localización del objetivo viene dada por:

$$\begin{cases} x = \rho \cos(\tilde{\theta}) \cos(\phi) \\ y = \rho \sin(\tilde{\theta}) \cos(\phi) \\ z = \rho \sin(\phi) \end{cases} \quad [34]$$

en la que

$$\rho = \frac{\left(R_b^{P_{Txi}^2} - L_i^2\right)L_j \cos(\tilde{\theta} - \theta_j) - \left(R_b^{P_{Txj}^2} - L_j^2\right)L_i \cos(\tilde{\theta} - \theta_i)}{2R_b^{P_{Txi}^2}L_j \cos(\tilde{\theta} - \theta_j) - 2R_b^{P_{Txj}^2}L_i \cos(\tilde{\theta} - \theta_i)} \quad [35]$$

- La segunda parte consiste en caracterizar por su posición la zona de localización correspondiente a la zona de intersección de los dos elipsoides (zona correspondiente a las posiciones probables del objetivo). Para hacer esto, se aplica por ejemplo el procedimiento descrito en la solicitud de patente francesa n.º 06 10961 depositada por el presente solicitante el 15/12/2006. Este procedimiento reenvía una lista de bloques unidos que describe, si existe, la zona de intersección de los elipsoides de localización utilizados, de manera conocida, para localización fina del objetivo en los sistemas de radares biestáticos. Cada bloque corresponde a un paralelepípedo caracterizado por la posición de su centro y la anchura de cada uno de sus lados, englobando la reunión de estos bloques la zona de intersección.

El conjunto de estos bloques se aprovecha en este caso para representar esta zona por una posición media y una matriz de covarianza. Estas dos cantidades se evalúan como sigue:

Según la invención, se evalúa la probabilidad de cada uno de los bloques soluciones obtenidos aplicando el procedimiento descrito en la solicitud de patente anteriormente citada, poniendo en correspondencia las medidas de las distancias biestáticas procedentes de los rastros elementales y la proyección del centro del bloque en las bases biestáticas correspondientes a las medidas (es decir a los rastros elementales). Si se indica por x^m la posición, en el marco de referencia, del centro de un bloque m que constituye una solución, su distancia biestática en la base biestática asociada al primer rastro se escribe:

$$r_b^{i,m} = \left\|x^m - x^{Txi}\right\|_2 + \left\|x^m - x^{Rx}\right\|_2 \quad [36]$$

Indicando por $\left(\tilde{r}_b^{i,m}, \sigma_{\tilde{r}_b^{i,m}} \right)$ la distancia biestática asociada a la marcación del rastro P_{Tx_i} y su desviación tipo, la probabilidad para el bloque m de pertenecer a la medida de distancia biestática en la base i se toma igual a

$$P_{r_b^{i,m}} = 1 - \text{Erf} \left(\frac{\left| \tilde{r}_b^{i,m} - r_b^{i,m} \right|}{\sigma_{\tilde{r}_b^{i,m}} \sqrt{2}} \right) \quad [37]$$

en la que Erf corresponde a la función de error gaussiana clásica:

$$\text{Erf}(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad [38]$$

5 Este cálculo de probabilidad se integra en todos los bloques y en todas las bases biestáticas (en este caso dos). Anotando como N_p el número total de bloques, la probabilidad final del bloque m se obtiene como sigue:

$$P^m = \frac{P_{r_b^{i,m}} \cdot P_{r_b^{j,m}}}{\sum_{k=1}^{N_p} P_{r_b^{i,k}} \cdot P_{r_b^{j,k}}} \quad [39]$$

10 La zona de incertidumbre se caracteriza, según la invención, por su media y su matriz de covarianza, calculada como sigue a partir de las probabilidades anteriores:

$$\bar{x} = \sum_{k=1}^{N_p} P^k x^k \quad [41]$$

y

$$\Sigma_x = \sum_{k=1}^{N_p} P^k (x^k - \bar{x})(x^k - \bar{x})' = \begin{pmatrix} \sigma_{xx}^2 & \sigma_{xy}^2 & \sigma_{xz}^2 \\ \sigma_{xy}^2 & \sigma_{yy}^2 & \sigma_{yz}^2 \\ \sigma_{xz}^2 & \sigma_{yz}^2 & \sigma_{zz}^2 \end{pmatrix} \quad [41]$$

15 En la hipótesis favorable en la que la asociación se considera como verosímil, se entra en la tercera etapa del módulo de asociación.

El ensayo de coherencia en velocidad implementado en el transcurso de esta tercera etapa, permite confirmar los resultados de los ensayos de la etapa precedente. Consiste en determinar, bajo una hipótesis de que los dos rastros elementales considerados están vinculados al mismo objetivo, la velocidad de este último, velocidad expresada por sus componentes v_x y v_y en el marco cartesiano de referencia vinculadas al radar (es decir al receptor).

20 La componente v_z de la velocidad no se considera en este caso en la medida en que, para la mayoría de los objetivos, la velocidad ascensional es despreciable con relación a los otros componentes y que su determinación necesita procesar las informaciones elaboradas no por dos sino por tres bases biestáticas distintas, lo que complica frecuentemente de forma inútil los cálculos.

25 La determinación de la velocidad supuesta del objetivo consiste de ese modo, según la invención, en resolver el sistema lineal siguiente:

$$\begin{cases} v_b^i = f_{T_x^i} \left(\begin{bmatrix} x^t & v_x^t & y^t & v_y^t \end{bmatrix} \right) \\ v_b^j = f_{T_x^j} \left(\begin{bmatrix} x^t & v_x^t & y^t & v_y^t \end{bmatrix} \right) \end{cases} \approx \begin{bmatrix} v_b^i \\ v_b^j \end{bmatrix} = A_{T_x^i, T_x^j}^{x^t, y^t} \begin{bmatrix} v_x^t \\ v_y^t \end{bmatrix} \quad [42]$$

siendo

$$A_{T_x^i, T_x^j}^{x^t, y^t} = \begin{pmatrix} \frac{x^t - x^{T_c^i}}{\|x^t - x^{T_c^i}\|_2} + \frac{x^t - x^{R_x}}{\|x^t - x^{R_x}\|_2} & \frac{y^t - y^{T_c^i}}{\|y^t - y^{T_c^i}\|_2} + \frac{y^t - y^{R_x}}{\|y^t - y^{R_x}\|_2} \\ \frac{x^t - x^{T_c^j}}{\|x^t - x^{T_c^j}\|_2} + \frac{x^t - x^{R_x}}{\|x^t - x^{R_x}\|_2} & \frac{y^t - y^{T_c^j}}{\|y^t - y^{T_c^j}\|_2} + \frac{y^t - y^{R_x}}{\|y^t - y^{R_x}\|_2} \end{pmatrix} \quad [43]$$

y en la que x^t e y^t representan las coordenadas del objetivo obtenidas como resultado del ensayo n.º 2 de la etapa precedente. Las incógnitas del sistema son en este caso los valores v_x^t y v_y^t de las componentes cartesianas del vector de velocidad del objetivo.

5 En lo que sigue el ensayo de coherencia consiste en determinar si el módulo de esta velocidad supuesto es inferior a una velocidad máxima dada. En caso afirmativo, se confirma la verosimilitud de la asociación de los dos rastros elementales. En caso contrario, en cambio, se abandona la asociación.

10 En la hipótesis favorable en la que la asociación se considera como confirmada, se entra en la cuarta etapa del módulo 62 de inicialización (inicialización del rastro global). El estado inicial del rastro fusionado global se representa entonces por una magnitud media x_{inic} y una matriz de covarianza $\Sigma_{x_{inic}}$ construidas a partir de los resultados obtenidos como consecuencia de la segunda y tercera etapas. Se puede escribir:

$$x_{inic} = \begin{bmatrix} x^t & v_x^t & y^t & v_y^t & z^t & 0 \end{bmatrix}, \quad [44]$$

y

$$\Sigma_{x_{inic}} = \begin{pmatrix} \sigma_{x^t x^t}^2 & 0 & \sigma_{x^t y^t}^2 & 0 & \sigma_{x^t z^t}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{v_x^t}^2 & 0 & \sigma_{v_y^t, v_y^t}^2 & 0 & 0 \\ \sigma_{x^t y^t}^2 & 0 & \sigma_{y^t y^t}^2 & 0 & \sigma_{y^t z^t}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{v_y^t, v_y^t}^2 & 0 & \sigma_{v_y^t}^2 & 0 & 0 \\ \sigma_{x^t z^t}^2 & 0 & \sigma_{y^t z^t}^2 & 0 & \sigma_{z^t z^t}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{v_z^t}^2 \end{pmatrix} \quad [45]$$

15 en la que:

$$\begin{pmatrix} \sigma_{v_x^t}^2 & \sigma_{v_y^t, v_y^t}^2 \\ \sigma_{v_y^t, v_y^t}^2 & \sigma_{v_y^t}^2 \end{pmatrix} = \left(A_{T_x^i, T_x^j}^{x^t, y^t} \right)^{-1} \begin{pmatrix} \sigma_{v_b}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{v_b}^2 \end{pmatrix} \left(\left(A_{T_x^i, T_x^j}^{x^t, y^t} \right)^{-1} \right)^T \quad [46]$$

siendo $\sigma_{v_z^t}^2 = \text{cte}$.

20 La cuarta etapa del módulo 62 de inicialización es seguida finalmente por la quinta y última etapa que consiste en intentar agregar al rastro global otros rastros elementales que vienen de bases biestáticas no puestas a contribución durante la inicialización del rastro global nuevamente creado (N-2 bases para un conjunto total de N bases). El proceso de asociación de rastros elementales-rastros globales implementado en esta fase es idéntico al proceso implementado por el módulo 63. No afecta sin embargo más que a los rastros elementales para los que una agregación a un rastro global ya formado (operación realizada por el módulo 63), no ha sido posible.

25 El módulo 63 de asociación "rastros elementales-rastros globales" o módulo de asociación, busca por un lado confirmar la verosimilitud de unas asociaciones ya realizadas y por otro lado extender el número de bases

biestáticas que contribuyen al mantenimiento de los rastros globales en curso. Con este fin, se efectúan las tres tareas siguientes:

- 5 - confirmar en el instante k considerado la pertenencia de los rastros elementales a los rastros globales a los que ya estaban asociados en el instante $k-1$. Si en el instante k , ya no se comprueba la pertenencia de un rastro elemental dado a un rastro global, entonces se disocia el rastro elemental del rastro global. Se convierte por esto en disponible, o bien para una asociación con otro rastro global en el instante k , o bien, en el instante $k+1$, para la constitución con otro rastro elemental igualmente no asociado, de un nuevo rastro global (módulo 65).
- 10 - buscar si pueden asociarse uno o varios rastros elementales nuevos, aún no asociados, a unos rastros globales existentes.
- buscar si pueden asociarse unos rastros elementales a unos rastros globales en predicción tras q ciclos.

Según la invención, la operación de asociación de un rastro elemental a un rastro global se convierte en ampliar el número de bases biestáticas contribuyentes. Para hacer esto se busca, entre los rastros elementales procedentes de las bases biestáticas aún no contribuyentes, si ciertos de ellos no podrían asociarse al rastro global considerado imponiendo, en el caso en el que se identificaran varios rastros elementales candidatos, la elección más probable. El proceso de asociación se itera sobre el conjunto de los rastros globales en curso de mantenimiento. Se realiza como sigue:

Bucle sobre las bases biestáticas (índice b)

Búsqueda de los rastros globales $\{g_{trk_b}\}$ que no contienen la base b .

Fin del bucle

20 **Bucle sobre los rastros globales $\{g_{trk_b}\}$ (índice i)**

Bucle sobre los rastros elementales de la base biestática bajo ensayo (índice m)

Cálculo de la distancia estadística $Y_{i,m}$ (imagen de la verosimilitud) entre los rastros globales retenidos y los rastros elementales.

Fin del bucle sobre los rastros elementales

25 **Fin del bucle sobre los rastros globales**

Bucle sobre los rastros globales $\{g_{trk_b}\}$ (índice i)

Bucle sobre los rastros elementales de la base biestática bajo ensayo (índice m)

Búsqueda del rastro elemental p_{etrk1} más verosímil (es decir que minimiza una distancia estadística mientras permanece inferior a un nivel máximo):

30
$$Y_{ref} = \operatorname{argmin}_{\{m\}} (Y_{i,m} < Y_{max}) = Y_{i,p_{etrk2}}$$

Búsqueda del rastro elemental p_{etrk2} más verosímil después de p_{etrk1} :

$$Y_{mem} = \operatorname{argmin}_{\{m \neq p_{etrk1}\}} (Y_{i,m} \leq Y_{max}) = Y_{i,p_{etrk2}}$$

Fin del bucle sobre los rastros elementales

Si p_{etrk1} y p_{etrk2} no existen entonces se pasa al índice i siguiente.

35 **Fin Si**

Si p_{etrk1} existe pero no p_{etrk2} entonces existe la asociación. Se decide la asociación entre el rastro elemental p_{etrk1} y el rastro global i

Fin Si

Si p_{etrk1} y p_{etrk2} existen entonces:

40 **Bucle sobre los rastros globales aparte del rastro i (índice n)**

Búsqueda de sí un rastro global no tendría una verosimilitud con el rastro elemental p_{etrk1} mayor que el rastro i . Esto se convierte en verificar si existe un índice n_{inv} tal que $Y_{n_{inv},Petrk} \geq Y_{i,Petrk1}$.

Fin del bucle sobre los rastros globales

Si no se ha encontrado ningún índice n_{inv} , se decide la asociación entre el rastro elemental p_{etrk1} y el rastro global i .

Si no, se decide la asociación entre el rastro elemental p_{etrk2} y el rastro global i .

Fin Si

5 Si se ha encontrado un índice n_{inv} , se invalida la asociación entre el rastro elemental p_{etrk1} y el rastro global i .

Fin Si

Fin del bucle sobre los rastros elementales

El cálculo de la distancia estadística entre un rastro global i y un rastro elemental j de una base b se obtiene como sigue proyectando el rastro global en la base biestática b :

10 Sea g la funcionalidad de paso (explicitada en la ecuación [48]) de las coordenadas cartesianas X del marco (R_x, x, y, z) a las coordenadas biestáticas Y de la base biestática b , en la que $X = [x \ v_x \ y \ v_y \ z \ v_z]$ e $Y = [r_b \ v_b \ \theta]'$. Si (x_k, \tilde{x}_k) representan respectivamente la predicción del estado del rastro global en el instante k y su covarianza, entonces su proyección en la base biestática se escribe $\tilde{y}_k = g(\tilde{x}_k)$ siendo:

$$g \left(\begin{matrix} x_k \\ v_{x,k} \\ y_k \\ v_{y,k} \\ z_k \\ v_{z,k} \end{matrix} \right) = \left[\begin{matrix} \left(\left(x_k - x^{T_x} \right)^2 + \left(y_k - y^{T_x} \right)^2 + \left(z_k - z^{T_x} \right)^2 \right)^{1/2} + \left(\left(x_k - x^{R_x} \right)^2 + \left(y_k - y^{R_x} \right)^2 + \left(z_k - z^{R_x} \right)^2 \right)^{1/2} \\ \frac{(x_k - x^{T_x})v_{x,k} + (y_k - y^{T_x})v_{y,k} + (z_k - z^{T_x})v_{z,k}}{\left(\left(x_k - x^{T_x} \right)^2 + \left(y_k - y^{T_x} \right)^2 + \left(z_k - z^{T_x} \right)^2 \right)^{1/2}} + \frac{(x_k - x^{R_x})v_{x,k} + (y_k - y^{R_x})v_{y,k} + (z_k - z^{R_x})v_{z,k}}{\left(\left(x_k - x^{R_x} \right)^2 + \left(y_k - y^{R_x} \right)^2 + \left(z_k - z^{R_x} \right)^2 \right)^{1/2}} \\ \text{atan} \left(\frac{y_k - y^{R_x}}{x_k - x^{R_x}} \right) \end{matrix} \right] \quad [47]$$

15 Anotando como (Y_k, R_k) el estado del rastro elemental (restringido a las tres componentes biestáticas r_b, v_b y θ anteriormente mencionadas) y su covarianza, la distancia estadística γ se obtiene como sigue:

$$\gamma = v_k' \Gamma_k^{-1} v_k \quad [48]$$

siendo $v_k = Y_k - g(\tilde{x}_k)$ y $\Gamma_k = G_k \tilde{\Sigma}_{x_k} G_k' + R_k$, correspondiendo G_k a la linealización de g en \tilde{x}_k : $G_k = \left. \frac{\partial g}{\partial x} \right|_{x=\tilde{x}_k}$.

20 Habiendo sido efectuadas las operaciones 62 de inicialización y 63 de asociación, el módulo 64 de localización según la invención, procede a la localización de los rastros globales. Puede tratarse según el caso de rastros globales nuevamente formados en función del estado de los rastros elementales en el instante k considerado o bien de rastros globales preexistentes y cuya existencia se confirma por el estado de los rastros elementales en ese instante. Permite construir las observaciones de posición que se utilizan por el módulo 65 de rastreo para realizar el mantenimiento de los rastros globales. El vector de observación contiene por un lado el resultado de la fusión de las distancias biestáticas extraídas de los rastros elementales y por otro lado las velocidades biestáticas extraídas de esos mismos rastros elementales.

25 Según la invención, la fusión de las distancias biestáticas, proporcionadas en el estado de los rastros elementales, se realiza reconstruyendo la posición del objetivo a partir de varias distancias biestáticas procedentes de diferentes pares emisor/receptor. Esta reconstrucción puede realizarse por cualquier procedimiento apropiado conocido, en particular mediante el procedimiento implementado en el módulo 62 de inicialización de los rastros globales, para el ensayo de coherencia en distancia efectuado por la segunda etapa (segunda parte); siendo extendido en este caso el procedimiento al número de rastros elementales implicados en el instante k en el rastro global del que se quiere construir el vector de observación.

El vector de observación se define entonces como sigue:

$$y_{gt} = \left[x_f \ y_f \ z_f \ v_b^{et1} \ v_b^{et2} \ \dots \ v_b^{etn} \right]' \quad [49]$$

35

y

$$R_{y_{gt}} = \begin{pmatrix} \sigma_{x_f}^2 & \sigma_{x_f y_f}^2 & \sigma_{x_f z_f}^2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \sigma_{x_f y_f}^2 & \sigma_{y_f}^2 & \sigma_{y_f z_f}^2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \sigma_{x_f z_f}^2 & \sigma_{y_f z_f}^2 & \sigma_{z_f}^2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{v_b}^{et1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{v_b}^{et2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{v_b}^{etn} \end{pmatrix} \quad [50]$$

Representando $R_{y_{gt}}$ la covarianza de y_{gt} .

5 Habiendo sido calculados los parámetros relativos a los rastros globales en el instante k , el módulo 65 de rastreo procede a la estimación del estado del rastro, a su predicción en el instante $k+1$ y a la predicción de la medida asociada. Esta última se destina a su utilización por el módulo 63 de asociación para evaluar si en el instante $k+1$ puede asociarse un rastro elemental dado a un rastro global existente. Se recuerda aquí que según la invención, un rastro elemental no se asocia, en un instante k dado, más que a un único rastro global.

10 Según la invención, la evolución del estado del objetivo se modeliza mediante un proceso aleatorio $\{x_k\}$ de valor en \mathbb{R}^6 , que describe la velocidad y la posición del objetivo considerado, y por tanto los componentes son: $[x \ v_x \ y \ v_y \ z \ v_z]$.

Este proceso se rige por la ecuación de evolución lineal en tiempo discreto correspondiente al modelo posición/velocidad siguiente:

$$x_k = Fx_{k-1} + w_k \quad [51]$$

siendo

$$F = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

15

y en la que el proceso $\{w_k\}$, de valor en \mathbb{R}^6 , es un ruido blanco gaussiano centrado, de matriz de covarianza Q constante:

$$Q = \sigma_{v_{xy}}^2 \begin{pmatrix} T^3/3 & T^2/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ T^2/2 & T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & T^3/3 & T^2/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & T^2/2 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \sigma_{v_z}^2 \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & T^3/3 & T^2/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & T^2/2 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

en la que T corresponde a la desviación de tiempos entre los instantes k y $k+1$.

La elección de este modelo de estado se fija en este caso por la naturaleza de los objetivos prioritarios del radar.

El proceso de observación reagrupa por su parte, las medidas fusionadas de posición expresadas en el marco cartesiano del radar y las medidas de velocidad biestática procedentes de cada rastro elemental que contribuye al rastro global. El modelo de observación es por tanto no lineal y de dimensión variable en el tiempo.

- 5 El proceso de observación se define además como un proceso aleatorio $\{y_k\}$ de valor en \mathbb{R}^{3+nb_cet} , en la que nb_cet representa el número de rastros elementales asociados ("cet" es el acrónimo de la denominación anglosajona "contributive elementary track"). Este proceso de observación $\{y_k\}$ de componentes $\begin{bmatrix} x & y & z & v_b^{et1} & v_b^{et2} & \dots & v_b^{etn} \end{bmatrix}$ se

define por la ecuación de observación:

$$y_k = h(x_k) + v_k \quad [53]$$

- 10 en la que $\{v_k\}$ es un ruido blanco gaussiano cuya matriz de covarianza R_k definida más arriba (en la definición del vector de observación) corresponde a las precisiones de las medidas en el instante k . h representa en este caso la funcionalidad de observación del proceso de evolución definida en \mathbb{R}^6 hacia \mathbb{R}^{3+nb_cet} como sigue:

$$h \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ v_b^{et1} \\ v_b^{et2} \\ \vdots \\ v_b^{etn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(x-x^{T_x^{et1}})v_x + (y-y^{T_x^{et1}})v_y + (z-z^{T_x^{et1}})v_z}{\left(\left(x-x^{T_x^{et1}}\right)^2 + \left(y-y^{T_x^{et1}}\right)^2 + \left(z-z^{T_x^{et1}}\right)^2\right)^{1/2}} + \frac{(x-x^{R_x})v_x + (y-y^{R_x})v_y + (z-z^{R_x})v_z}{\left(\left(x-x^{R_x}\right)^2 + \left(y-y^{R_x}\right)^2 + \left(z-z^{R_x}\right)^2\right)^{1/2}} \\ \frac{(x-x^{T_x^{et2}})v_x + (y-y^{T_x^{et2}})v_y + (z-z^{T_x^{et2}})v_z}{\left(\left(x-x^{T_x^{et2}}\right)^2 + \left(y-y^{T_x^{et2}}\right)^2 + \left(z-z^{T_x^{et2}}\right)^2\right)^{1/2}} + \frac{(x-x^{R_x})v_x + (y-y^{R_x})v_y + (z-z^{R_x})v_z}{\left(\left(x-x^{R_x}\right)^2 + \left(y-y^{R_x}\right)^2 + \left(z-z^{R_x}\right)^2\right)^{1/2}} \\ \vdots \\ \frac{(x-x^{T_x^{etn}})v_x + (y-y^{T_x^{etn}})v_y + (z-z^{T_x^{etn}})v_z}{\left(\left(x-x^{T_x^{etn}}\right)^2 + \left(y-y^{T_x^{etn}}\right)^2 + \left(z-z^{T_x^{etn}}\right)^2\right)^{1/2}} + \frac{(x-x^{R_x})v_x + (y-y^{R_x})v_y + (z-z^{R_x})v_z}{\left(\left(x-x^{R_x}\right)^2 + \left(y-y^{R_x}\right)^2 + \left(z-z^{R_x}\right)^2\right)^{1/2}} \end{bmatrix} \quad [54]$$

- 15 A continuación el módulo 65 de rastreo según la invención procede para cada instante de medida k , a la predicción de los componentes del vector de estado correspondiente a cada rastro fusionado global a partir de la estimación de los componentes del vector de estado en el instante $k-1$, siendo realizada a su vez esta estimación a partir del vector de observación elaborado por medio de las medidas relativas para el instante $k-1$ a los rastros elementales asociados al rastro global considerado y de la predicción de los componentes del vector de estado en el instante $k-1$.
 20 El procedimiento implementado es en este caso procedimiento recursivo descrito mediante un filtro de Kalman extendido cuyas ecuaciones de definición son las siguientes:

Estado predicho:

$$\tilde{x}_k = F\hat{x}_{k-1} \quad [55]$$

Covarianza predicha:

$$\tilde{\Sigma}_{x_k} = F\hat{\Sigma}_{x_{k-1}}F' + Q \quad [56]$$

- 25 Linealización de la funcionalidad de observación:

$$H_k = \left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=\tilde{x}_k} \quad [57]$$

Innovación:

$$i_k = y_k - h(\tilde{x}_k) \quad [58]$$

Covarianza de la innovación:

$$\Sigma_{i_k} = H_k \tilde{\Sigma}_{x_k} H_k^T + R_k \quad [59]$$

5 Ganancia de filtrado:

$$K_k = \Sigma_{x_k} H_k \Sigma_{i_k}^{-1} \quad [60]$$

Estado estimado:

$$\hat{x}_k = \tilde{x}_k + K_k i_k \quad [61]$$

Covarianza estimada:

$$10 \quad \hat{\Sigma}_{x_k} = (I - K_k H_k) \tilde{\Sigma}_{x_k} \quad [62]$$

El estado inicial (x_0, Σ_0) se supone en este caso gaussiano.

15 Como resultado de la etapa 24 de fusión posterior, se dispone por tanto para cada instante k de medida de una lista de rastros fusionados globales, estando caracterizado cada rastro por el valor del vector de estado x_k del objetivo al que corresponde, este rastro global se alimenta por las medidas asociadas a las marcaciones fusionados que representan los diferentes rastros elementales obtenidos como resultado de la etapa 23 de fusión anterior y asociados a los rastros globales considerados. El procedimiento según la invención tal como se describe en el presente documento, permite ventajosamente por tanto realizar la fusión de informaciones que proceden de diferentes bases biestáticas, pudiendo procesar cada base biestática unas señales a través de diferentes canales de recepción. Esta fusión se hace ventajosamente posible aunque las medidas efectuadas por las diferentes bases 20 biestáticas no se expresen inicialmente en el mismo marco de referencia.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de rastreo para sistemas de radares pasivos multicanales, incluyendo dicho sistema un receptor que aprovecha las emisiones producidas por una pluralidad de emisores de oportunidad, constituyendo cada emisor con el receptor una base biestática, presentando la emisión producida por cada uno de los emisores un espectro constituido por diferentes canales de frecuencia cuyo procesamiento conduce en cada instante a la constitución de marcaciones, estando cada marcación **caracterizada por** un vector de tres componentes constituidos por una medida de distancia biestática, una medida de velocidad biestática y una medida de azimut, así como por la matriz diagonal 3x3 de los errores asociados a estas medidas, **caracterizado porque** incluye:

- una primera etapa (23) de fusión anterior aplicada por separado a cada base (22) biestática, que coopera directamente en el espacio de las componentes de los vectores que caracterizan las marcaciones, e implementando una operación (22) de constitución de rastros elementales, realizando la identificación de las marcaciones de los diferentes canales de frecuencia (21) relativos al mismo objetivo y la fusión instantánea de estas marcaciones, incluyendo su vez la operación (22) de constitución de los rastros elementales para cada instante de medida:

- una primera subetapa (221) de fusión de marcaciones para asociar las marcaciones elementales de los diferentes canales de recepción de cada base biestática que presente, para un instante de medida dado, unos detectores de medida y_j próximos entre sí y formar unas marcaciones fusionadas, estando cada marcación (25) fusionada j **caracterizada por** un vector de medida $y_j = (r_b, v_b, \theta)$ en la que r_b , v_b y θ representan respectivamente las medidas de distancia biestática, de velocidad biestática y azimut del objeto detectado por la base biestática considerada;

- una segunda subetapa (222) de construcción de rastros elementales a partir de las marcaciones fusionadas, estando constituido un rastro elemental por la sucesión en el tiempo de las marcaciones fusionadas relativas a un mismo objetivo, estando representado cada objetivo detectado por un rastro (25) biestático elemental cuyas características (atributos) evolucionan en el tiempo en función de las marcaciones que se le asocian; incluyendo la subetapa (221) de fusión de las marcaciones un módulo (31) de agregación de marcaciones que asocia las marcaciones elementales de los diferentes canales de recepción de cada uno de la misma base biestática presentando, para un instante de medida dado, unos vectores de medida y_j próximos entre sí, teniendo en cuenta unas precisiones de las medidas, y formar la forma de las marcaciones fusionadas, la agregación de dos marcaciones elementales $p1$ y $p2$ se realiza si los vectores de medida $y1$ e $y2$ que caracterizan estas marcaciones verifican el criterio de proximidad definido por las tres relaciones siguientes:

$$\left[r_b^{p1} - 2\sigma_{r_b^{p1}}; r_b^{p1} + 2\sigma_{r_b^{p1}} \right] \cap \left[r_b^{p2} - 2\sigma_{r_b^{p2}}; r_b^{p2} + 2\sigma_{r_b^{p2}} \right] \neq \emptyset$$

y

$$\left[v_b^{p1} - 2\sigma_{v_b^{p1}}; v_b^{p1} + 2\sigma_{v_b^{p1}} \right] \cap \left[v_b^{p2} - 2\sigma_{v_b^{p2}}; v_b^{p2} + 2\sigma_{v_b^{p2}} \right] \neq \emptyset$$

y

$$\left[\theta^{p1} - 2\sigma_{\theta^{p1}}; \theta^{p1} + 2\sigma_{\theta^{p1}} \right] \cap \left[\theta^{p2} - 2\sigma_{\theta^{p2}}; \theta^{p2} + 2\sigma_{\theta^{p2}} \right] \neq \emptyset$$

en la que $(\sigma_{r_b^{p1}}, \sigma_{v_b^{p1}}, \sigma_{\theta^{p1}})$ y $(\sigma_{r_b^{p2}}, \sigma_{v_b^{p2}}, \sigma_{\theta^{p2}})$ representan respectivamente las componentes de las matrices de covarianza R asociadas a los vectores de medida $y_j(r_b, v_b, \theta)$ de las marcaciones consideradas; siendo

$$R = \begin{pmatrix} \sigma_{r_b}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{v_b}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{\theta}^2 \end{pmatrix}$$

representando r_b , v_b y θ respectivamente las medidas de distancia biestática, de velocidad biestática y azimut que caracterizan la marcación P_i considerada;

- una segunda etapa (24) de fusión posterior que elabora un rastro (26) global a partir de los rastros (25) elementales relativos al mismo objetivo, detectado simultáneamente por varias bases biestáticas, implementando la segunda etapa:

- un módulo (62) de inicialización de los rastros globales, inicializándose un rastro global por asociación de

dos rastros elementales elaborados por dos bases biestáticas (62) distintas;

- un módulo (63) de mantenimiento de los rastros globales formados, realizándose el enriquecimiento mediante la búsqueda de rastros elementales elaborados por otras bases biestáticas susceptibles de asociarse a un rastro global existente, siendo determinados los rastros elementales que pueden asociarse al rastro global dado proyectando los atributos del rastro global considerado en cada uno de los marcos de referencia de las bases biestáticas en las que alguno de los rastros elementales no se ha asociado aún al rastro global considerado y por comparación, para cada una de estas bases biestáticas, de los valores de atributos proyectados del rastro global a los atributos de los diferentes rastros 5 elementales relativos a la base biestática considerada;

- una operación de fusión de las informaciones biestáticas de los diferentes rastros elementales fusionados que consiste, en un primer tiempo, en implementar un módulo (64) de localización que aprovecha las distancias biestáticas de los rastros elementales para determinar una estimación de la posición del rastro global a partir de las elipsoides que corresponden a estas distancias biestáticas, y posteriormente, en un segundo tiempo, en implementar un módulo (65) de filtrado no lineal que aprovecha simultáneamente la estimación de posición realizada y las velocidades biestáticas que caracterizan los rastros elementales que contribuyen al mantenimiento del rastro global.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la etapa 221 de fusión de las marcaciones incluye además los módulos siguientes:

- un segundo módulo (32) de fusión de las marcaciones elementales agregadas que elabora para cada agregado un vector de medida resultante $y(r_b, v_b, \theta)$ único a partir de los vectores de medidas $y_j(r_b, v_b, \theta)$ de las marcaciones que forman el agregado, definido y por las relaciones siguientes:

$$y = R \sum_{j=1}^N R_j^{-1} y_j \quad y \quad R = \left(\sum_{j=1}^N R_j^{-1} \right)^{-1}$$

en la que R_j representa la matriz de covarianza asociada al vector de medidas y_j , siendo utilizada la marcación fusionada para formar un rastro elemental dado;

- un tercer módulo (34) que controla el estado de los rastros elementales formados para determinar la verosimilitud de un rastro elemental considerando el número de marcaciones elementales que forman el agregado en el origen de la marcación fusionada utilizada para constituir el rastro.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el módulo (62) de inicialización de la etapa (24) de fusión posterior incluye sucesivamente las cinco etapas siguientes:

- una primera etapa que ensaya la coherencia en azimut de los rastros elementales candidatos calculando la diferencia de los azimuts y comparando esta con un umbral dado;

- una segunda etapa que ensaya la coherencia en distancia de los rastros elementales candidatos, implementando esta etapa un ensayo tosco basado en el cálculo analítico de la intersección de dos elipsoides de localización y un ensayo final basado en una localización en tres dimensiones que permite determinar la posición inicial del rastro global a inicializar.

- una tercera etapa que ensaya la coherencia en velocidad de los rastros elementales candidatos, calculando la velocidad cartesiana inicial del rastro global a inicializar, a partir de las velocidades biestáticas que caracterizan los dos rastros biestáticos candidatos y el resultado del módulo de localización en tres dimensiones;

- una cuarta etapa que procede a la inicialización de un rastro global a partir de los resultados de los ensayos anteriores;

- una quinta etapa que consiste en agregar al rastro global inicializado unos rastros elementales que vienen de las bases biestáticas no puestas a contribución durante la inicialización del rastro global.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el módulo (64) de localización de la segunda etapa (24) de fusión posterior consiste en aproximar la zona de intersección de los elipsoides de localización mediante una yuxtaposición de bloques, correspondiendo cada bloque a un paralelepípedo caracterizado por la posición de su centro y la anchura de cada uno de sus lados, englobando la reunión de estos bloques la zona de intersección, y para extraer del conjunto de los bloques que engloba la zona, un valor medio de posición y una matriz de covarianza asociada, estando asociado cada bloque a una probabilidad que caracteriza su coherencia con relación a las distancias biestáticas en el origen de la zona de intersección.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el módulo (63) de mantenimiento de los rastros globales de la segunda etapa (24) de fusión posterior implementa el cálculo de la distancia estadística y que separa la proyección de un rastro global en una base biestática b y un rastro elemental de esta misma base biestática, candidato a la fusión, siendo la distancia estática y función de las componentes biestáticas distancia, velocidad y azimut que caracterizan el rastro elemental candidato a la asociación y unos componentes de la proyección del estado x del rastro global en la base biestática b .

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el módulo (65) de filtrado no lineal de la segunda etapa (24) de fusión posterior procede para cada instante de medida k , a la predicción \tilde{x}_k de los componentes del vector de estado x que corresponde a cada rastro global a partir de la estimación \hat{x}_{k-1} de las componentes del vector de estado x en el instante $k-1$, realizándose por su parte esta estimación a partir del vector de observación y_{k-1} elaborado por medio de las medidas relativas para el instante $k-1$ a los rastros elementales asociados al rastro global considerado y a la predicción \tilde{x}_{k-1} de las componentes del vector de estado x en el instante $k-1$, estando compuestas las componentes del vector de observación por el resultado de la fusión de las distancias biestáticas de cada rastro elemental, elaborado en el módulo (64) de localización de los rastros de la etapa (24) de fusión posterior y de las velocidades biestáticas de estos mismos rastros elementales obtenidos como resultado de la etapa (23) de fusión anterior.

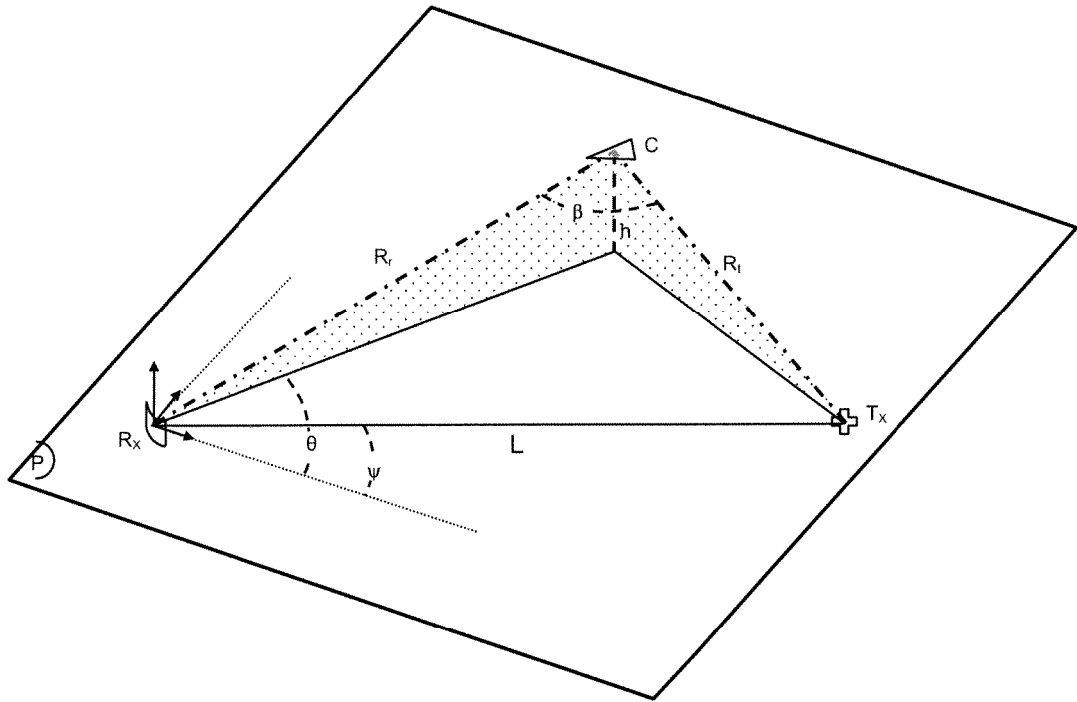


Fig. 1

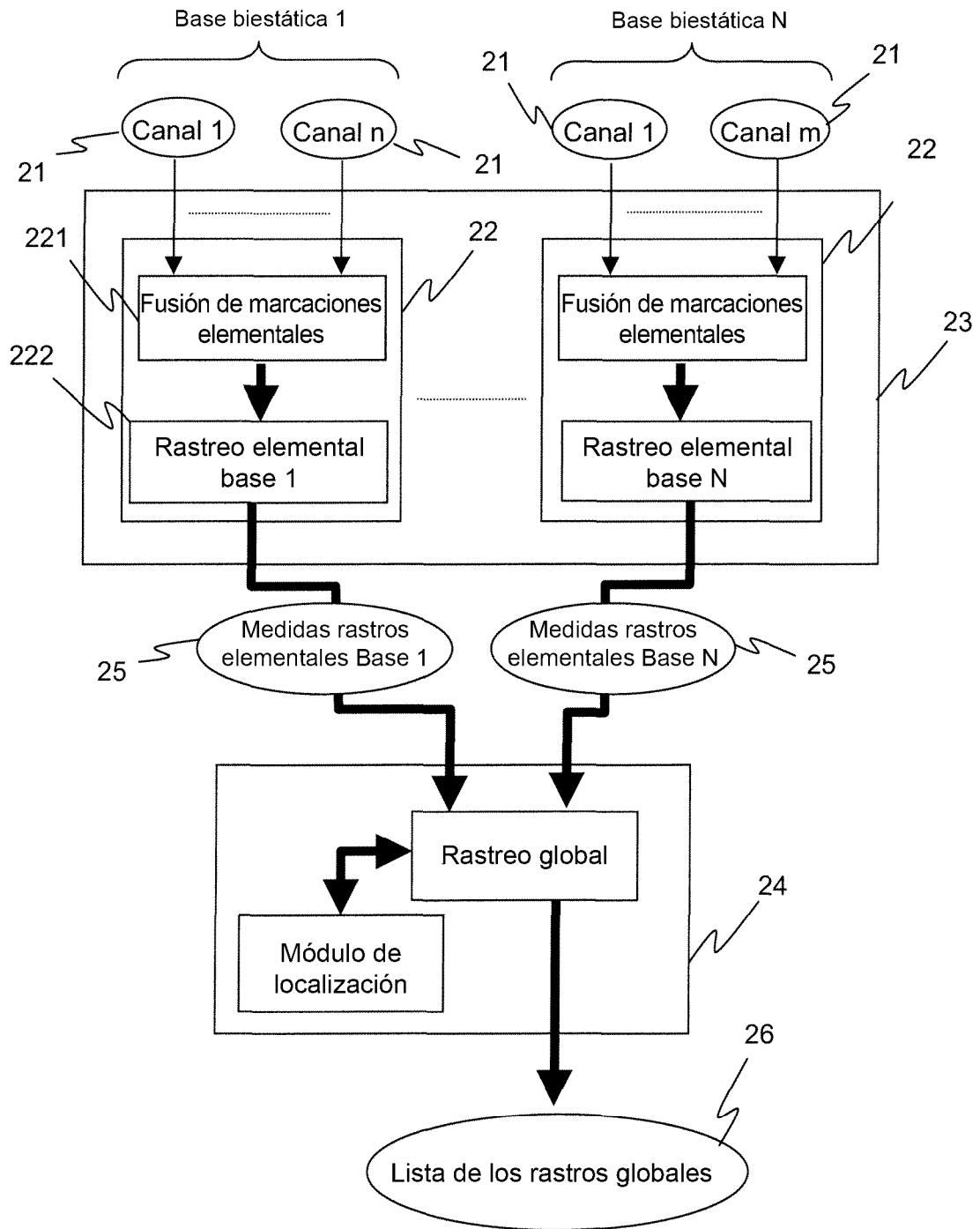


Fig. 2

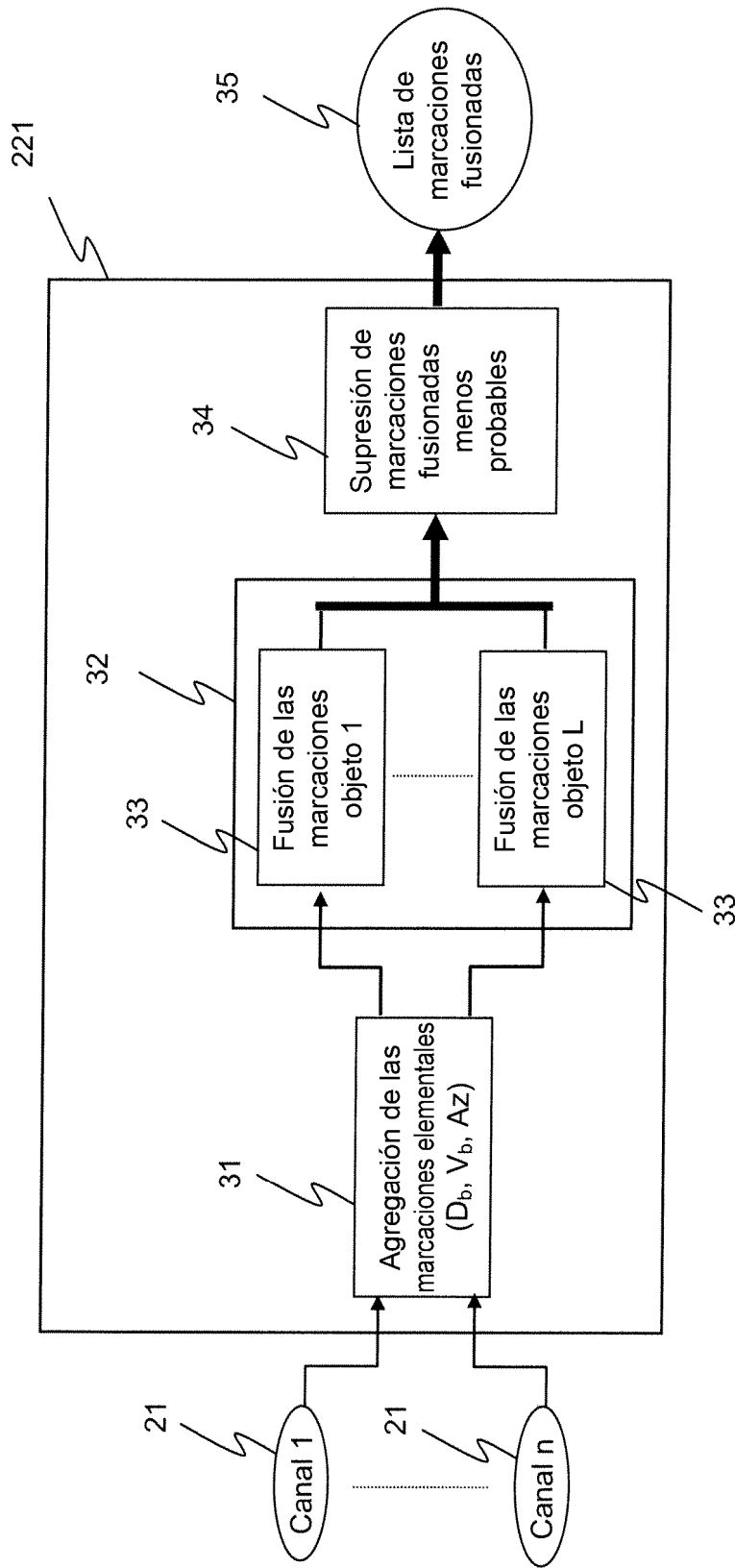


Fig. 3

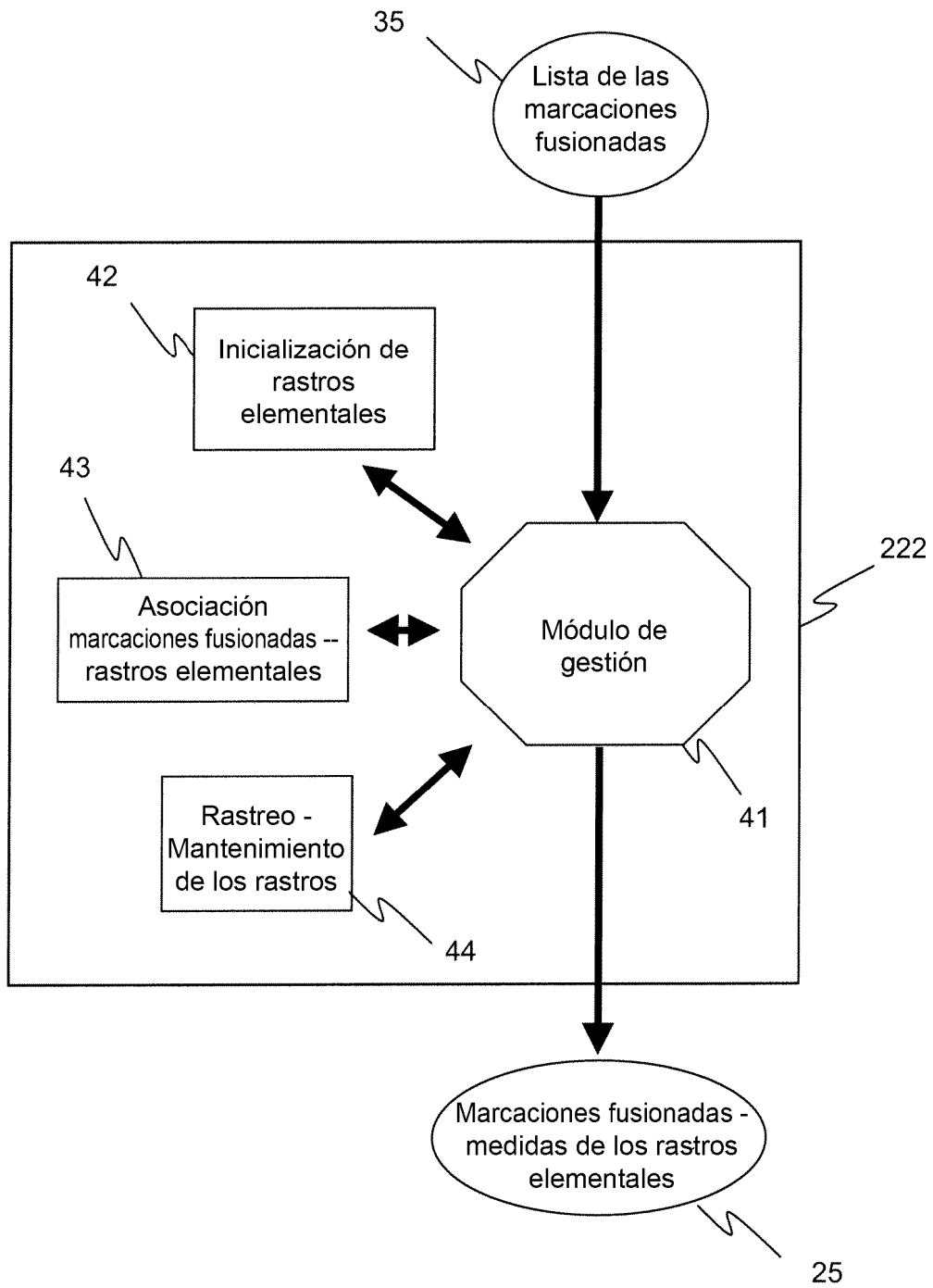


Fig. 4

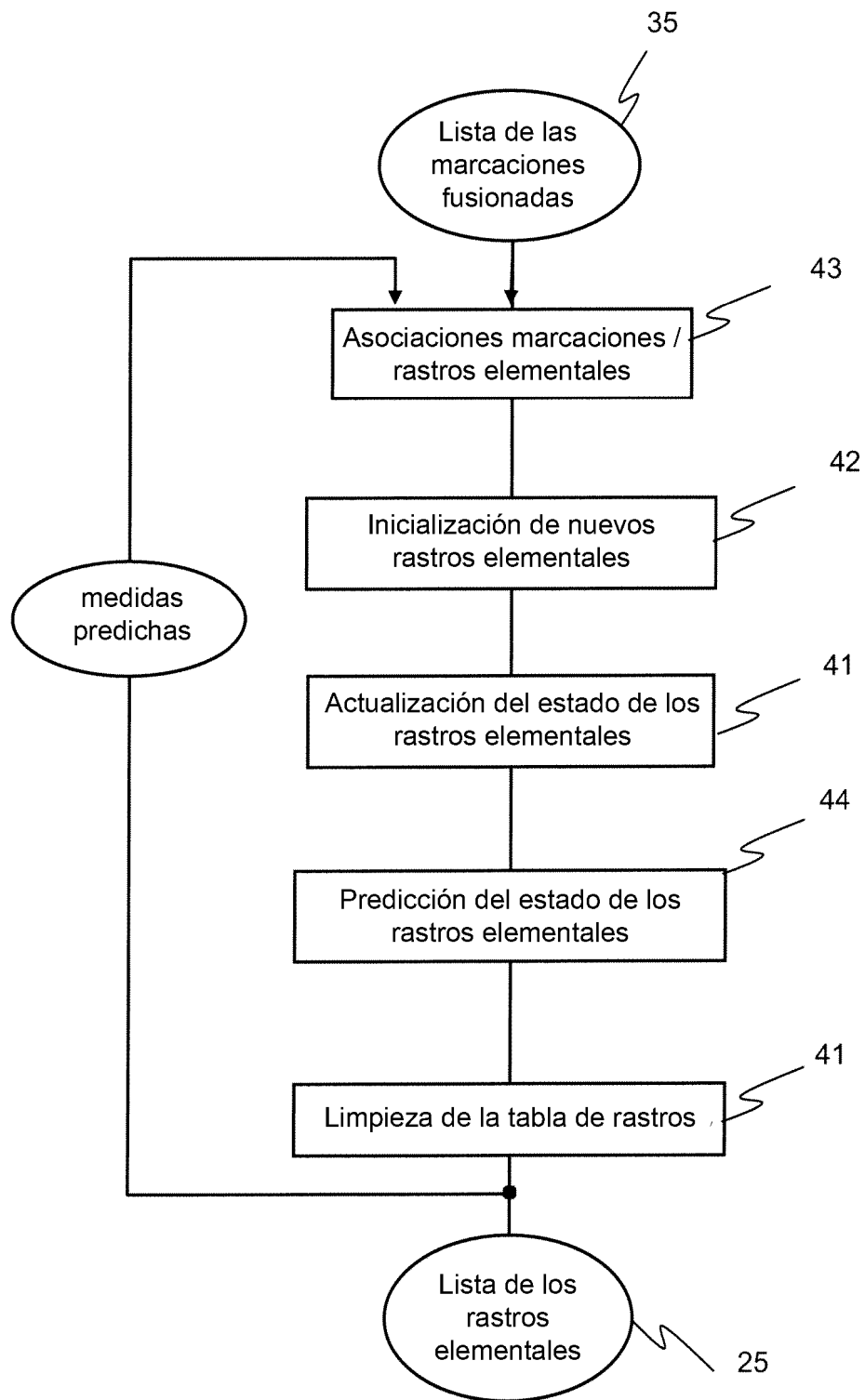


Fig. 5

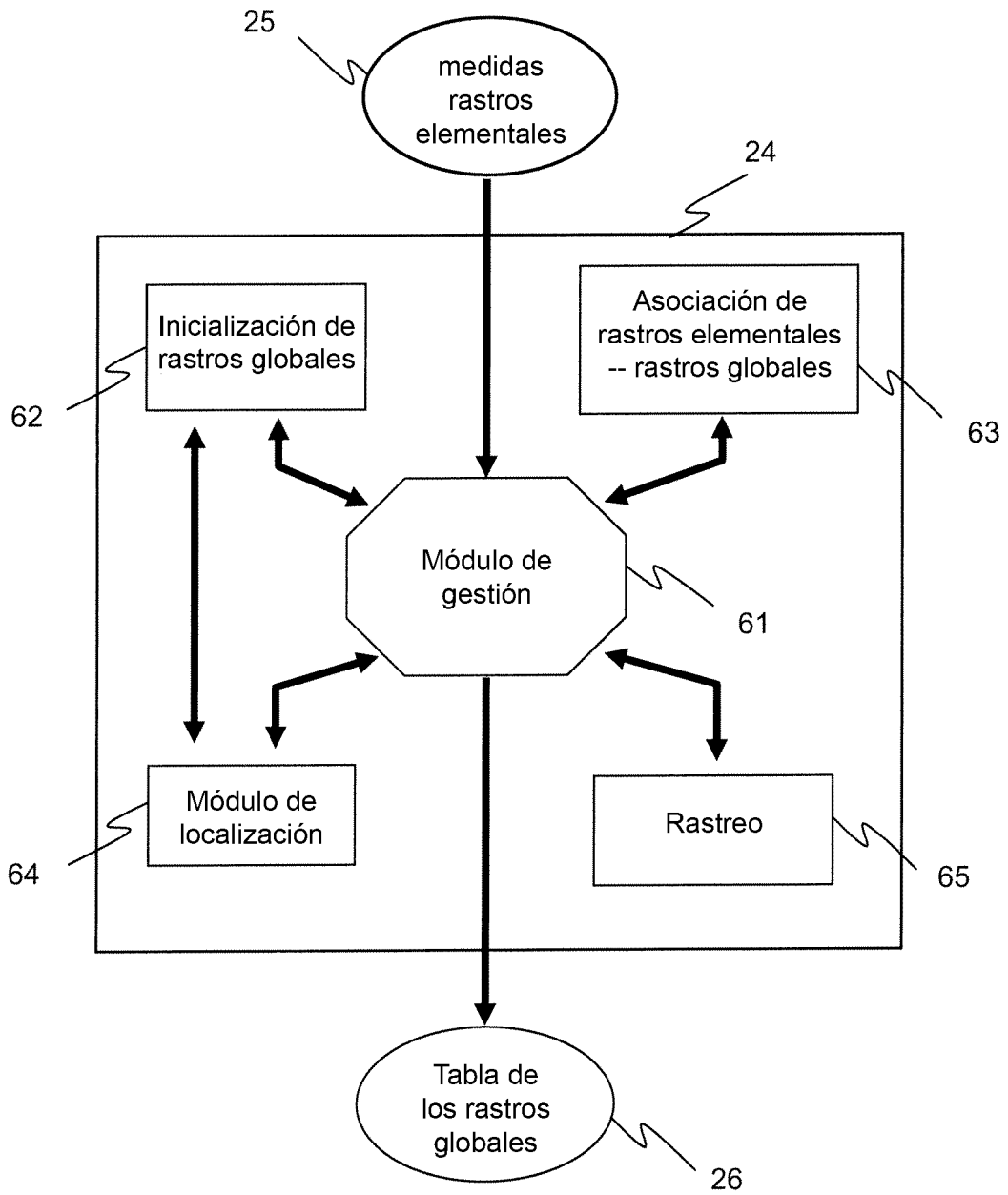


Fig. 6

