

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 773 454**

51 Int. Cl.:

**G01S 17/66** (2006.01)

**G01S 15/66** (2006.01)

**G01S 13/72** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.09.2015 PCT/EP2015/070210**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.03.2016 WO16034695**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.09.2015 E 15760148 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.01.2020 EP 3189348**

54 Título: **Procedimiento de gestión de cruces en el seguimiento de objetos móviles y dispositivos asociado**

30 Prioridad:  
**05.09.2014 FR 1401991**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**13.07.2020**

73 Titular/es:  
**THALES (100.0%)  
TOUR CARPE DIEM, PLACE DES COROLLES,  
ESPLANADE NORD  
92400 COURBEVOIE, FR**

72 Inventor/es:  
**LEMOINE, JEAN-MARIE;  
DELABBAYE, JEAN-YVES y  
JOUSSELIN, CLAUDE**

74 Agente/Representante:  
**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 773 454 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de gestión de cruces en el seguimiento de objetos móviles y dispositivos asociado

La presente invención se refiere al campo del seguimiento de objetos móviles. La presente invención se refiere, más particularmente, a un procedimiento de gestión de cruces en el seguimiento de objetos móviles, así como a un dispositivo adaptado para implementar un procedimiento de este tipo. El procedimiento y el dispositivo se pueden aplicar, en concreto, al seguimiento de aeronaves y de barcos.

El seguimiento de un conjunto de objetos móviles por uno o varios sensores consiste en explotar en el transcurso del tiempo los datos en la salida del grupo de al menos un sensor para construir y actualizar un conjunto de pistas correspondientes a los diferentes objetos percibidos por el o los sensores. Se trata de reagrupar con el paso del tiempo las mediciones hechas sobre los diferentes objetos seguidos para tener unas reagrupaciones homogéneas, debiendo cada reagrupación corresponder a un objeto diferente y constituyendo cada reagrupación una pista que sigue al mismo objeto con el paso del tiempo. Los objetos a seguir, así como el o los sensores pueden estar en movimiento.

Los datos correspondientes a los diferentes objetos móviles presentes en el entorno vigilado por el o los sensores pueden incluir, por ejemplo, unas informaciones de posicionamiento de dichos objetos. Según el sensor, los datos pueden ser unos valores medidos, como, por ejemplo, un acimut en el caso de un sensor MRE para "*Medición de Inteligencia Electrónica*" conocido, igualmente, bajo el acrónimo anglosajón ESM para "*Electronic Support Measures*" ("*Medidas de Soporte Electrónico*") o unos vectores de mediciones como, por ejemplo, unos vectores constituidos por un acimut y por una distancia, en el caso de un sensor de radar o unos vectores constituidos por un acimut y por un sitio, en el caso de un sensor optrónico. Los vectores de datos pueden contener, igualmente, unas mediciones características que describen los objetos. En ciertos casos, las informaciones de posicionamiento pueden estar constituidas por una posición fechada del sensor y por uno o varios parámetros de situación del objeto en el espacio en relación con el sensor.

Un problema, en el campo del seguimiento de objetos móviles, es seguir correctamente la evolución de los diferentes objetos en el transcurso del tiempo. Cuando unos objetos similares, es decir, no discriminables por las mediciones efectuadas por uno o varios sensores, evolucionan en el espacio, puede ser que lleguen a cruzarse en el sentido de la percepción desde el portador del o de los sensores, es decir, que las mediciones de posición relativa de los objetos con respecto a dicho portador se confunden momentáneamente. Entonces, se habla de ambigüedades. En este caso, se vuelve difícil, en un tramo de tiempo más o menos largo, saber si las informaciones producidas por el o los sensores corresponden a un objeto o a otro. Un problema que se plantea es saber cómo reagrupar y seguir las mediciones cuando algunas se vuelven momentáneamente ambiguas. En estas condiciones, durante el procesamiento de los datos, pueden producirse unas mezclas y una o varias mediciones pueden atribuirse a unas pistas equivocadas. Esto puede alterar la calidad del seguimiento de los objetos y puede provocar unas caracterizaciones equivocadas, unas discontinuidades o unas divisiones de pistas en el momento del cruce. En este contexto, es interesante proponer una solución que permita mejorar el procesamiento de rastreo durante estas situaciones de cruce.

El seguimiento de objetos está tratado ampliamente en la literatura (véase, por ejemplo, Yaakov Bar-Shalom, Xiao-Rong Li - "*Estimation and Tracking*" - Artech House 1993 o Samuel Blackman, Robert Popoli - "*Design and Analysis of Modern Tracking Systems*" - Artech House 1999). Este seguimiento consiste en asociar la información nuevamente producida a las pistas ya producidas en el pasado teniendo en cuenta la proximidad de los valores medidos y los ruidos de medición y en actualizar las pistas.

El seguimiento de objetos múltiples (o MTT para "*Multiple Target Tracking*", "*Seguimiento de Objetivos Múltiples*") por un sensor es un procesamiento que consiste en crear o actualizar unas pistas a partir de datos nuevamente adquiridos. Esto se hace normalmente (véase, en concreto, Samuel Blackman, Robert Popoli - "*Design and Analysis of Modern Tracking Systems*" - Artech House 1999) por el encadenamiento de cinco funciones: procesamiento de las nuevas observaciones, asociación de las observaciones a las pistas, gestión de las pistas (inicialización, confirmación o supresión), filtrado y predicción (para actualizar las pistas y poder estimar unas posiciones en el futuro cercano), cálculo de ventanaje (para permitir unas asociaciones en el futuro cercano restringiendo las asociaciones posibles por un volumen alrededor de la posición predicha).

A veces, puede haber ahí conflicto entre varias pistas, por ejemplo, cuando hay una intersección de los volúmenes alrededor de las posiciones predichas. En un procesamiento de tipo NN (para "*Nearest Neighbor*", "*Vecino más Cercano*"), cada pista está actualizada por la observación más cercana, incluso si la observación es compatible con varias pistas. En un procesamiento de tipo GNN (para "*Global Nearest Neighbor*", "*Vecino más Cercano Global*"), la asociación se hace considerando todas las asociaciones compatibles de ventanaje, pero bajo la exigencia de que una observación no puede estar asociada más que, a lo sumo, a una pista.

La actualización de los parámetros cinemáticos de las pistas se hace normalmente por filtrado de tipo Kalman (véase Yaakov Bar-Shalom, Xiao-Rong Li - "*Estimation and Tracking*" - Artech House 1993) o por un procesamiento de tipo IMM para "*Interacting Multiple Model*", "*Modelo Múltiple Interactivo*" (véase Yaakov Bar-Shalom, Xiao-Rong Li - "*Multitarget-multisensor tracking: Principles and techniques*"- 1995 o Samuel Blackman, Robert Popoli - "*Design and Analysis of Modern Tracking Systems*" - Artech House 1999), si se desea usar un conjunto de filtrados de Kalman en

5 paralelo para poder adaptarse a un cambio cinemático. Sin embargo, S. Blackman señala que un procesamiento de asociación de tipo GNN asociado a un filtrado de tipo Kalman no funciona bien más que cuando los objetos están ampliamente espaciados (véase, en concreto, Samuel Blackman - "Multiple Hypothesis Tracking For Multiple Target Tracking" - IEEE A&E Systems Magazine, Ene 2004 vol. 19, n.º 1, Parte 2: tutoriales, p. 5-18). En las situaciones de conflicto entre pistas, la matriz de covarianza del filtrado de Kalman se puede aumentar, pero esto puede conducir a incrementar también los conflictos.

10 Se conoce, igualmente, en la técnica anterior, un enfoque de tipo JPDA (para "Joint Probabilistic Data Association", "Asociación Conjunta de Datos Probabilísticos"), descrito, por ejemplo, en 1995 por Yaakov Bar-Shalom y Xiao-Rong Li en "Multitarget-multisensor tracking: Principles and techniques". Este método consiste en actualizar las pistas con todas las observaciones compatibles con el ventanaje usando una suma ponderada de las observaciones por su probabilidad. El inconveniente de este método es que tiende a hacer aglomerar las pistas que están poco espaciadas.

15 Otra forma de gestionar los casos de conflictos durante las asociaciones, es usar unas técnicas de tipo MHT para "Multiple Hypothesis Tracking" ("Seguimiento de Hipótesis Múltiples"), tales como las introducidas, por ejemplo, por D. B. Reid en "An algorithm for tracking multiple targets" - IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 21, n.º 1 (feb. 1976), p. 101-104. Este tipo de procesamiento consiste, en los casos de ambigüedad de asociación, en memorizar y mantener con el paso del tiempo toda la combinatoria de las sucesiones de asociación posibles entre observaciones y pistas. Con el fin de tratar de no conservar más que las pistas que persisten en el transcurso del tiempo, se puede definir una puntuación para las hipótesis y, finalmente, solo se retienen las mejores hipótesis. Esta puntuación sobre las hipótesis se puede definir por un vínculo de verosimilitud o por un logaritmo de vínculo de verosimilitud entre la verosimilitud de que se trata de una pista y la verosimilitud de que se trate de una falsa alarma. Este tipo de procesamiento genera una explosión combinatoria que puede controlarse ya sea por clustering (agrupación), supresión o reagrupación de hipótesis, ya sea no reteniendo más que las k mejores hipótesis. Hay que señalar que estos enfoques usan unas hipótesis sobre las probabilidades a priori de número de objetivos o de tasa de falsas alarmas.

25 La patente otorgada en los EE.UU. bajo la referencia US 6 081 764 describe un dispositivo destinado a asegurar el seguimiento de los objetivos de paso en una zona dada del espacio y evitar las mezclas ("swap") entre los atributos de los objetivos rastreados en el caso de cruces de las pistas de los objetivos considerados. El dispositivo divulgado considera las pistas por pares y calcula para cada par considerado un trayecto de vuelo compuesto, así como un valor de polaridad, luego, usa conjuntamente el trayecto de vuelo compuesto y el valor de polaridad para resolver la ambigüedad que puede aparecer en la correlación de los datos de pista de cada objetivo. Según la enseñanza del documento, permitiendo la implementación de cálculos del trayecto de vuelo compuesto y de valores de polaridad objetivo aumentar el tamaño de la zona de persecución para evitar unas pérdidas de pista, sin aumentar en contrapartida la probabilidad de mezcla de los atributos objetivo.

35 Una finalidad de la invención es, en concreto, corregir todo o parte de los inconvenientes de la técnica anterior proponiendo una solución, alternativa a las soluciones anteriores, que permite gestionar correctamente las ambigüedades relacionadas con los cruces en el seguimiento de los objetos móviles a partir del gran número de mediciones generado por uno o varios sensores.

Para este propósito, la invención tiene como objeto un procedimiento de gestión de cruces de pistas según la reivindicación 1.

40 Según un modo de implementación, el procedimiento comprende, además, una etapa Etp3 de notificación del estado de ambigüedad de la pista bajo prueba en el instante considerado.

Según la invención, se dice que una pista k no es ambigua en el instante  $t_l$ , si verifica, la relación:

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \hat{q}_{l-1}^j g(\hat{C}_{l-1}^k + \hat{A}_{l-1}^k(t_l - t_{l-1}) - \hat{C}_{l-1}^j - \hat{A}_{l-1}^j(t_l - t_{l-1})) < \varepsilon \cdot \hat{r}_{l-1}^k$$

Donde:

45 K representa el número total de pistas creadas hasta el instante l-1,  
 $\hat{q}_{l-1}^j$  representa la estimación de la proporción de puntos clasificados en la pista j hasta el instante l-1,  
 $g(\cdot)$  representa una densidad de probabilidad,  
 $\hat{C}_{l-1}^j = \hat{A}_{l-1}^j t_{l-1} + \hat{B}_{l-1}^j$  representa la estimación del vector de posición de la pista j en el instante  $t_{l-1}$ ,  
 $\hat{A}_{l-1}^j$  representa la estimación de la velocidad de la pista j en el instante  $t_{l-1}$  y  $\hat{B}_{l-1}^j$  la estimación del vector de posición de la pista j en el instante  $t=0$ ,  
 $\hat{r}_{l-1}^k = \hat{q}_{l-1}^k / c$  donde  $\hat{q}_{l-1}^k$  representa la estimación de la proporción de los puntos  $X_n$  clasificados en una pista alejada de la pista k y c la integral del campo de las mediciones admisibles.

Alternativamente, se dice que una pista k no es ambigua en un instante  $t_i$  si para cualquier pista  $j \neq k$  verifica la relación:

$$\left\| \hat{C}_{i-1}^k + \hat{A}_{i-1}^k (t_i - t_{i-1}) - \hat{C}_{i-1}^j - \hat{A}_{i-1}^j (t_i - t_{i-1}) \right\| > S$$

Donde

$\|\cdot\|$  representa el estándar definido para un vector  $X=(X_p)$  por  $\|X\| = \sup \left( \frac{|x_p|}{\sigma_p} \right)$  con  $\sigma_p$  la desviación tipo para el  $p^o$  componente de X en la densidad  $g(X)$ ,  
 S representa un umbral predeterminado.

5

Según un modo de implementación, la etapa de procesamiento específico de las estimaciones de las pistas en estado de ambigüedad en un instante  $t_i$  se efectúa por un filtro recursivo definido por:

$$\begin{cases} \hat{C}_i^k = \hat{C}_{i-1}^k + \hat{A}_{i-1}^k (t_i - t_{i-1}) + \hat{\alpha}_{i-1}^k M_1 g'(X_i - \hat{C}_{i-1}^k - \hat{A}_{i-1}^k (t_i - t_{i-1})) \\ \hat{A}_i^k = \hat{A}_{i-1}^k + \hat{\alpha}_{i-1}^k M_2 g'(X_i - \hat{C}_{i-1}^k - \hat{A}_{i-1}^k (t_i - t_{i-1})) \end{cases}$$

Donde

- 10  $X_i$  representa el punto medido en el instante  $t_i$   
 $\hat{C}_i^k = \hat{A}_i^k t_i + \hat{B}_i^k$  representa la estimación de la pista considerada en el instante  $t_i$ ,  
 $\hat{\alpha}_{i-1}^k$  representa un parámetro de ponderación  $M_1$  y  $M_2$  representan unas ganancias matriciales que aseguran la estabilidad del filtro  $g'(X)$  representa el gradiente de la densidad de probabilidad  $g(\cdot)$ .
- 15 Según un modo de implementación, el parámetro  $\hat{\alpha}_{i-1}^k$  está definido por

$$\hat{\alpha}_{i-1}^k = \frac{\hat{r}_{i-1}^k}{\hat{r}_{i-1}^k + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \hat{q}_{i-1}^j g(X_i - \hat{C}_{i-1}^j - \hat{A}_{i-1}^j (t_i - t_{i-1}))}$$

Donde

- 20  $\hat{r}_{i-1}^k = \hat{q}_{i-1}^k / c$   
 $\hat{q}_{i-1}^j$  representa la proporción de los puntos  $X_n$  clasificados en la pista j en el instante  $i-1$ ,  
 $\hat{C}_{i-1}^j$  representa la estimación de la pista considerada,  
 $\hat{A}_{i-1}^j$  representa la estimación de la velocidad de la pista considerada

Según un modo de implementación, el parámetro  $\hat{\alpha}_{i-1}^k$  es igual a 0 cuando la pista es ambigua y es igual a 1 en el caso contrario.

- 25 Según un modo de implementación, si la duración durante la que una pista se considera como ambigua es superior a un umbral predeterminado, dicha pista se considera como no ambigua.

Según un modo de implementación, el grupo de al menos un sensor se elige de entre unos sensores pasivos, unos sensores de radar, unos sensores de sonar, unos sensores optrónicos o cualesquiera combinaciones de estos sensores.

- 30 La invención tiene como objeto, igualmente, un dispositivo de seguimiento de objetos móviles según la reivindicación 8 adaptado para implementar el procedimiento descrito anteriormente según la reivindicación 1.

Según un modo de realización, el grupo de al menos un sensor se elige de entre unos sensores pasivos, unos sensores de radar, unos sensores de sonar, unos sensores optrónicos o cualesquiera combinaciones de estos sensores.

- 35 Otras particularidades y ventajas de la presente invención se pondrán de manifiesto más claramente con la lectura de la descripción a continuación, dada a título ilustrativo y no limitativo y hecha con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- La figura 1 ilustra un ejemplo de geometría de cruce de 2 pistas;
- La figura 2 representa unas etapas posibles del procedimiento de gestión de cruces según la invención;

- La figura 3 representa un ejemplo de modo de realización de un dispositivo de seguimiento de objetos móviles según la invención.

El procesamiento según la invención puede implementarse por un dispositivo de seguimiento de objetos móviles que comprende uno o varios sensores.

- 5 El procesamiento de gestión de los cruces según la invención se basa en una modelización que particulariza una pista y su pista más cercana de entre el conjunto de las pistas. Para este procesamiento, se supondrá que solo se cruzan dos pistas y que las otras pistas no interactúan sobre estas dos pistas.

A continuación, el procesamiento de gestión de cruces según la invención se va a describir para una evolución lineal de las mediciones en función del tiempo.

- 10 Cuando las mediciones procedentes del o de los sensores no tienen ruidos, cada pista  $k$  describe una recta de ecuación  $A^k.t+B^k$  donde  $t$  designa el tiempo, donde  $A^k$  designa el vector de velocidad de evolución de las mediciones de la pista  $k$  y donde  $B^k$  designa el vector de posición en el instante  $t=0$  de las mediciones de la pista  $k$ .

En presencia de ruido, para cada  $n$ , el punto  $X_n$  en el instante  $t_n$  es un valor de medición o un vector de mediciones que corresponde a una de entre  $K$  pistas en presencia de un ruido aditivo centrado de densidad de probabilidad  $g(.)$  que se supone conocida. Por lo tanto, se puede escribir, escribiendo que los puntos  $X_n$  evolucionan linealmente en función del tiempo  $t_n$ :

- 15

$$X_n = A^{f(n)}t_n + B^{f(n)} + W_n \quad ; \quad n = 1,2,\dots,N \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde  $W_n$  corresponde a ruido centrado, independiente de  $n$  y de densidad de probabilidad  $g(.)$  y  $f(.)$  representa una función desconocida de  $[1,2,\dots, N]$  en  $[1,2,\dots, K]$  que indica a qué pista  $k$  corresponde el punto  $X_n$ .

- 20 El objetivo es encontrar un procesamiento de estimación de los coeficientes  $A^k$  y  $B^k$ , representando el índice  $k$  la pista, por medio de los puntos  $X_n$  sin conocer ni la función  $f(.)$  ni  $k$ . Tal como se plantea, este problema conduce a una combinatoria enorme y no puede procesarse bajo la forma de la ecuación 1 debido al gran número de incógnitas, en concreto, la función  $f(.)$ . Por lo tanto, se elige simplificar este modelo. Entonces, se recurre a un modelo estadístico que tiene en cuenta los efectos promedio en lugar de la realidad física expresada por la ecuación 1.

- 25 Dos pistas definidas por  $A, B$  y por  $A', B'$  se consideran como cercanas en las inmediaciones del instante  $t_n$  si  $\|(A-A')t+B-B'\| < \text{umbral}$  para  $t$  que pertenece a las inmediaciones de  $t_n$

donde  $\|X\|^2 = \sum_{p=1}^P \frac{x_p^2}{\sigma_p^2}$  con  $X = (x_1, x_2, \dots, x_P)$ ,  $P$  el número de componentes de  $X$  y  $\sigma_p$  la desviación tipo de  $x_p$ .

- 30 Para una pista cercana a una situación de cruce en las inmediaciones del instante  $t_n$ , el punto  $X_n$  pertenece ya sea a la pista de interés, ya sea a una pista cercana a la pista de interés, ya sea a unas pistas más alejadas. Se propone escribir la ecuación 1, en el instante  $t_n$ , bajo la forma:

$$X_n = \varepsilon_n (At_n + B) + \varepsilon'_n (A't_n + B') + \varepsilon''_n U_n + W_n \quad \text{(Ecuación 2)}$$

donde

- 35  $\varepsilon_n, \varepsilon'_n, \varepsilon''_n$  son tales que solo uno de los tres coeficientes es no nulo con una probabilidad respectiva de estos tres estados  $q, q', q''$  que verifica  $q+q'+q''=1$ ,  
 $A$  y  $B$  corresponden a los coeficientes de la pista de interés,  
 $A'$  y  $B'$  corresponden a los coeficientes de una pista cercana a la pista de interés,  
 $W_n$  corresponde al ruido que está centrado, independiente de  $n$  y de densidad de probabilidad  $g(.)$ ,  
 $U_n$  modeliza las otras pistas más alejadas bajo la forma de una sucesión de variables aleatorias independientes equidistribuidas sobre el campo de valor de las mediciones para traducir el no conocimiento de estas pistas y hacer  
40 las menos hipótesis posibles sobre su valor.

Hay que señalar que el modelo de la ecuación 2 es más general que el de la ecuación 1, ya que también da cuenta, por la presencia del término  $U_n$ , de mediciones falsas que no corresponden a ninguna pista.

La densidad de probabilidad de los puntos  $X_n$ , modelizada por la ecuación 2 está dada por la siguiente ecuación:

$$p(X_n) = q g(X_n - At_n - B) + \left[ \frac{q''}{c} + q' g(X_n - A't_n - B') \right]$$

(Ecuación 3)

donde c es la integral del campo de las mediciones admisibles (es decir, del campo al que pueden pertenecer las mediciones).  $\frac{1}{c}$  es la densidad de probabilidad de  $U_n$ .

Como continuación de la independencia de los  $X_n$ , se puede escribir:

$$p(X_1, X_2, \dots, X_N) = \prod_{n=1}^N (qg(X_n - At_n - B) + (1-q)h(X_n))$$

(Ecuación 4)

con  $h(\cdot)$  definido por:

$$h(X_n) = \frac{q''}{c} + q' g(X_n - A't_n - B')$$

(Ecuación 5)

En la expresión de la ecuación 4, el número de parámetros del modelo de la ecuación 1 se ha reducido considerablemente preservando al mismo tiempo su "naturaleza". En realidad, la ecuación 1 se ha sumergido en una familia de modelos representados por una misma medición de probabilidad.

Con el fin de estimar el valor de los parámetros A y B de las pistas, se propone establecer el estimador del máximo de verosimilitud de (A, B) a partir de los puntos  $X_n$  con  $n=1, 2, \dots, N$  suponiendo  $q, q', A'$  y  $B'$  conocidos. Esto consiste en estimar el parámetro  $\theta$  de un modelo aleatorio caracterizado por una densidad de probabilidad  $p(X_1, X_2, \dots, X_n, \theta)$  por medio de:

$$\theta = \text{Arg Máx}_{\theta} p(X_1, X_2, \dots, X_N, \theta)$$

Donde  $X_1, X_2, \dots, X_n$  son los puntos procedentes del o de los sensores.

A partir de las ecuaciones 4 y 5 se obtiene:

$$\ln(p(X_1, X_2, \dots, X_N, A, B)) = \sum_{n=1}^N \ln \left( 1 + q \frac{g(X_n - At_n - B) - h(X_n)}{h(X_n)} \right) + \sum_{n=1}^N \ln(h(X_n))$$

y

$$\text{Arg Máx}_{A, B} \ln(p(X_1, X_2, \dots, X_N, A, B)) = \text{Arg Máx}_{A, B} \sum_{n=1}^N \ln \left( 1 + q \frac{g(X_n - At_n - B) - h(X_n)}{h(X_n)} \right)$$

Se propone optimizar la búsqueda del máximo para los casos más difíciles, es decir, cuando se ve muy poco la pista de interés. Esto se traduce por unos valores de  $q$  cercanos a 0.

Después de un desarrollo limitado al 1<sup>er</sup> orden en  $q$  se encuentra:

$$(\hat{A}, \hat{B}) = \text{Arg Máx}_{A, B} \sum_{n=1}^N \frac{g(X_n - At_n - B)}{h(X_n)} \quad (\text{Ecuación 6})$$

La fórmula (6) debe comprenderse en el siguiente sentido: se buscan todos los máximos locales de la función a maximizar para encontrar los parámetros ( $A^k, B^k$ ) de todas las pistas. También se destaca que el procesamiento de la ecuación 6 supone el conocimiento de los parámetros  $A', B', q$  y  $q'$  que intervienen en la expresión de  $h(\cdot)$ .

Dos casos son interesantes a examinar:

Un primer caso corresponde a la situación donde, sean las que sean las pistas  $k$  y  $j$  de  $1, 2, \dots, K$  y  $t_n$ :

$$\text{Mín}_{t_n} \|(A^k - A^j)_{t_n} + (B^k - B^j)\|^2 > \text{umbral} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Este caso corresponde a la situación donde no interviene ningún cruce de pista durante la duración del procesamiento. Entonces, se tiene  $h(X_n) \approx q''/c$  que es igual a una constante. Por lo tanto, el procesamiento de la ecuación 6 se simplifica en:

$$(\hat{A}, \hat{B}) = \text{Arg}_{A, B} \text{Máx} \sum_{n=1}^N g(X_n - At_n - B) \quad (\text{Ecuación 8})$$

En este primer caso, no es necesario ningún conocimiento de los parámetros de las otras pistas o de q y q' para el procesamiento, hay desacoplamiento total entre las pistas.

5 Un segundo caso corresponde a la situación donde no se respeta la condición de la ecuación 7. Esto corresponde a una situación de cruce de pistas. Como se ha visto anteriormente, se supone que para el instante donde se produce el cruce, no hay más que dos pistas que se cruzan.

Se considera que el conjunto de las mediciones está dividido en subconjuntos o bloques de N mediciones numeradas l=0, 1, 2,... de modo que el punto de índice n se vuelve un punto indexado lN + p con 0 ≤ p < N.

A partir de las ecuaciones 5 y 6 se obtiene para el bloque l:

$$10 \quad (\hat{A}, \hat{B}) = \text{Arg}_{A, B} \text{Máx} \sum_{m=0}^l \sum_{p=0}^{N-1} \frac{g(X_{mN+p} - At_{mN+p} - B)}{c + q'g(X_{mN+p} - At_{mN+p} - B')} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Para definir un procesamiento realizable sobre el conjunto de los bloques, se supone que se dispone de las estimaciones en el rango l-1 necesarias para el cálculo de  $\hat{A}_l$  y  $\hat{B}_l$ . Por lo tanto, se conoce para cada pista:

$\hat{A}_{l-1}^k, \hat{B}_{l-1}^k, \hat{q}_{l-1}^k, \hat{q}_{l-1}^{nk}/c = \hat{r}_{l-1}^k$ , y se propone estimar  $A^k$  y  $B^k$  en el rango l, en vista de la ecuación 9 por:

$$(\hat{A}_l^k, \hat{B}_l^k) = \text{Arg}_{A, B} \text{Máx} \sum_{m=0}^l \sum_{p=0}^{N-1} \frac{g(X_{mN+p} - At_{mN+p} - B)}{\hat{r}_{l-1}^k + \sum_{j=1}^k \hat{q}_{l-1}^j (X_{mN+p} - \hat{A}_{(m-1)N+p}^j t_{mN+p} - \hat{B}_{(m-1)N+p}^j)}$$

15 (Ecuación 10)

donde

$c \hat{r}_{l-1}^k$  representa la proporción de puntos  $X_n$  no clasificados en la pista k para  $n=1,2,\dots, (l-1)N$ , (se desdénia la proporción de las pistas que han sido ambiguas con la pista k anteriormente al instante de cálculo),

$\hat{q}_{l-1}^j$  representa la proporción de puntos  $X_n$  clasificados en la pista j para  $n=1,2,\dots, (l-1)N$ .

20 En el rango l, el valor  $\hat{q}_l^k$  se actualiza para la pista k por la nueva proporción de puntos asignados a la pista k.

Teniendo en cuenta el hecho de que se considera que solo dos pistas se cruzan, se puede señalar, igualmente, que, en la suma, en el denominador de la ecuación 10, a lo sumo, un término es no nulo.

La maximización de la ecuación 10 se puede obtener de diferentes maneras.

Según una primera manera, la maximización se hace por un cálculo de la función a maximizar sobre una cuadrícula

25 de valores de A y B alrededor de la estimación anterior  $(\hat{A}_{l-1}^k, \hat{B}_{l-1}^k)$ .

Según un segundo método, la maximización se hace por un algoritmo del gradiente (método de Newton)

a partir de  $(\hat{A}_{l-1}^k, \hat{B}_{l-1}^k)$ . Esto se utiliza, sobre todo, cuando la longitud N de los bloques igual a 1. En este caso, el índice l es coincidente con el índice n. Se define  $C_l^k = A^k t_l + B^k$ , y se encuentra después de toma del gradiente:

$$\begin{cases} \hat{C}_l^k = \hat{C}_{l-1}^k + \hat{A}_{l-1}^k (t_l - t_{l-1}) + \hat{\alpha}_{l-1}^k M_1 g'(X_l - \hat{C}_{l-1}^k - \hat{A}_{l-1}^k (t_l - t_{l-1})) \\ \hat{A}_l^k = \hat{A}_{l-1}^k + \hat{\alpha}_{l-1}^k M_2 g'(X_l - \hat{C}_{l-1}^k - \hat{A}_{l-1}^k (t_l - t_{l-1})) \end{cases}$$

30 (Ecuación 11)

En este escrito:

- $g'(X)$  es el gradiente de  $g(\cdot)$  con respecto a X;
- $M_1$  y  $M_2$  son dos ganancias (eventualmente matriciales si se tiene en cuenta la matriz de las segundas derivadas en el método de Newton) que aseguran la estabilidad del filtro definido por la ecuación 11 y regulan su banda;

y  $\hat{\alpha}_{l-1}^k$  es un parámetro de ponderación que depende del estado de ambigüedad de la pista considerada que está definido por:

$$\hat{\alpha}_{l-1}^k = \frac{\hat{r}_{l-1}^k}{\hat{r}_{l-1}^k + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \hat{q}_{l-1}^j g\left(X_l - \hat{C}_{l-1}^j - \hat{A}_{l-1}^j(t_l - t_{l-1})\right)}$$

(Ecuación 12)

La influencia de este parámetro de ponderación  $\hat{\alpha}_{l-1}^k$  puede comprenderse como sigue. Cuando no tiene lugar ningún

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \hat{q}_{l-1}^j g\left(X_l - \hat{C}_{l-1}^j - \hat{A}_{l-1}^j(t_l - t_{l-1})\right) = 0,$$

5 cruce de pistas en el instante  $t_l$ , se tiene  $\hat{\alpha}_{l-1}^k = 1$  El filtro de la ecuación 11 se comporta, entonces, como los filtros convencionales empleados en persecución de objetivos múltiples. Se tiene una copia de la dinámica de evolución de las pistas y la innovación (diferencia entre el punto y la estimación del punto) ha pasado a una no linealidad (ventanaje llamado "gate" ("puerta") según la terminología anglosajona). En este caso, el filtro de la ecuación 11 corresponde al algoritmo del gradiente para el procesamiento de la ecuación 8 y el método propuesto, en el presente documento, permite precisar el tipo de no linealidad que se debe emplear.

10 En caso de cruce de pistas, el parámetro  $\hat{\alpha}_{l-1}^k$  se vuelve estrictamente inferior a 1 y decrece hasta el instante de cruce. Este parámetro crece, a continuación, hasta 1. A medida que disminuye el valor de este parámetro, el filtro tiene cada vez menos en cuenta el punto X en los diferentes instantes. Esto puede interpretarse como un paso progresivo "en memoria", que, él, está caracterizado por  $\hat{\alpha}_{l-1}^k = 0$ . Esta puesta en memoria se abandona, a continuación, progresivamente a medida que las pistas se alejan una de la otra.

La figura 1 representa, por un esquema, la geometría de un ejemplo de cruce de dos pistas 11.

En este esquema están representadas las posiciones 10 sucesivas de puntos que forman dos pistas 11 que se cruzan en un lugar de intersección 15. Cada punto corresponde a un vector de mediciones X suministrado por uno o varios sensores. Los puntos sucesivos de una pista caracterizan el movimiento del objeto móvil seguido.

20 Al acercarse al lugar de intersección 15, las pistas 11 entran en una zona de ambigüedad 12. Esta zona 12 corresponde al período durante el que las pistas están cercanas y donde se vuelve difícil saber a qué pista pertenecen los puntos 10.

La figura 2 representa unas etapas posibles del procedimiento de gestión de cruces en el seguimiento de objetos móviles según la invención. Este procedimiento puede comprender para cada pista en cada instante  $t_n$ , una etapa Etp1 de prueba del estado de ambigüedad de la pista considerada, con el fin de determinar si la pista considerada es ambigua o no en el instante considerado y, si la pista es ambigua, una etapa Etp2 de procesamiento específico de la estimación de la pista que tiene en cuenta la ambigüedad de la pista bajo prueba en el instante  $t_n$  considerado.

El procedimiento puede comprender, igualmente, una etapa Etp3 de notificación del estado de ambigüedad de la pista bajo prueba en el instante  $t_n$  considerado.

30 La etapa Etp1 de detección de los estados de ambigüedad de las pistas consiste, para cada pista en el instante  $t_l$ , en verificar si esta pista está en un estado de ambigüedad o no. Para esto, se define un criterio de separación de las pistas.

Según un modo de implementación, se dice que la pista k no es ambigua en el instante  $t_l$  si hay verificación de la prueba:

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \hat{q}_{l-1}^j g\left(\hat{C}_{l-1}^k + \hat{A}_{l-1}^k(t_l - t_{l-1}) - \hat{C}_{l-1}^j - \hat{A}_{l-1}^j(t_l - t_{l-1})\right) < \varepsilon \hat{r}_{l-1}^k$$

(Ecuación 13)

donde

K representa el número total de pistas creadas hasta el instante l-1,  $\hat{C}_l^j = \hat{A}_l^j t_l + \hat{B}_l^j$  representa la estimación del vector de posición de la pista j en el instante  $t_l$ ,  $\hat{A}_l^j$  la estimación del vector de velocidad de la pista j en el instante  $t_l$  y  $\hat{B}_l^j$  la estimación del vector de posición de la pista j en el instante t=0.

$\hat{q}_{l-1}^j$  representa la estimación de la proporción de los puntos  $X_n$  clasificados en la pista j para  $n = 1, 2, \dots, (l-1)N$ ,  
 $g(\cdot)$  representa la densidad de probabilidad del ruido de medición,  
 $\varepsilon$  representa un coeficiente. En un modo de implementación, este coeficiente vale 0,1,  
 $\hat{r}_{l-1}^k = \hat{q}_{l-1}^k / c$  donde  $\hat{q}_{l-1}^k$  representa la estimación de la proporción de los puntos  $X_n$  clasificados en una pista  
 alejada de la pista k y c la integral del campo de las mediciones admisibles.

5 Cuando la pista k no verifica la prueba, se dice que la pista k es ambigua en el instante  $t_l$ .

Durante esta etapa, se puede actualizar un indicador para la pista considerada para indicar que, en el instante considerado, la pista está en un estado de ambigüedad o no.

10 La detección de ambigüedad se efectúa en cada instante  $t_n$ , siendo el intervalo de tiempo entre dos instantes  $t_n$  regular o no.

Según otro modo de implementación, se dice que una pista k no es ambigua en el instante  $t_l$  si para cualquier pista  $j \neq k$  se tiene:

$$\left\| \hat{C}_{l-1}^k + \hat{A}_{l-1}^k (t_l - t_{l-1}) - \hat{C}_{l-1}^j - \hat{A}_{l-1}^j (t_l - t_{l-1}) \right\| > S$$

donde

15  $\left\| \cdot \right\|$  es el estándar definido para un vector  $X=(X_p)$  por  $\left\| X \right\| = \sup \left( \frac{|x_p|}{\sigma_p} \right)$  donde  $\sigma_p$  es la desviación tipo para el  $p^o$  componente de X en la densidad  $g(X)$   
 S representa un umbral predefinido.

20 Cuando una pista está en estado de ambigüedad, se añade un procesamiento específico para la gestión de cruces al procesamiento de rastreo. Este procesamiento específico consiste en un procesamiento recursivo o filtro recursivo efectuado con la ayuda de la ecuación 11 presentada anteriormente.

25 Según un primer modo de implementación del procedimiento según la invención, la etapa Etp2 de procesamiento específico de los datos relativos a las pistas en estado de ambigüedad consiste en efectuar un paso en memoria, es decir, en no tener en cuenta las nuevas mediciones para la actualización de la pista durante el período donde esta pista está en zona de ambigüedad. Esto equivale a decir que los parámetros para el cálculo de predicción de posición ya no evolucionan durante el estado de ambigüedad. En otras palabras, esto equivale a anular el parámetro  $\hat{\alpha}_{l-1}^k$  de la ecuación 11 cuando la pista es ambigua, con el fin de no tener ya en cuenta las mediciones. Cuando la pista no es ambigua, el valor de este parámetro está fijado en 1.

30 Según otro modo de implementación, se efectúa una puesta en memoria progresiva, con el fin de hacer una transición menos brusca con respecto al método anterior. Esta transición más suave se realiza gracias al cálculo del parámetro  $\hat{\alpha}_{l-1}^k$  con la ayuda de la ecuación 12 vista anteriormente. Cuando la pista entra en la zona de ambigüedad, el valor del parámetro  $\hat{\alpha}_{l-1}^k$  comienza a decrecer y progresivamente, los puntos se tienen cada vez menos en cuenta. Asimismo, a medida que el objeto seguido se aleja del lugar de intersección de las dos pistas, el valor del parámetro  $\hat{\alpha}_{l-1}^k$  va a crecer progresivamente hasta un valor sustancialmente igual a 1.

35 El "paso en memoria" permite no hacer desviar las pistas por unos errores debidos a unas mezclas de puntos entre las dos pistas en el momento del cruce.

De forma ventajosa, la implementación del primer método es mucho menos costosa en términos de cálculo.

40 El estado de ambigüedad es transitorio: comienza, dura y se termina en función de la evolución de las mediciones sobre los objetos móviles seguidos en el tiempo. Según un modo de implementación del procedimiento, cuando la duración durante la que una pista se considera como ambigua excede un umbral predeterminado, esta pista se considera como no ambigua, con el fin de evitar permanecer demasiado largo tiempo en una condición de ambigüedad.

45 Las dos variantes de procesamiento descritas anteriormente suponen una evolución lineal de las mediciones en función del tiempo. Esto da una flexibilidad para el seguimiento de los objetos móviles. Sin embargo, en ciertos casos, puede ser necesario tener en cuenta un orden más elevado que el orden dos para poder seguir mejor las evoluciones de estos objetos, por ejemplo, teniendo en cuenta la aceleración de los movimientos relativos.

Los procesamientos pueden generalizarse, por ejemplo, al orden tres para unas evoluciones de puntos que no serían completamente lineales localmente y para todos los órdenes superiores o iguales a 2.

Conservando las anotaciones anteriores, la ecuación 1 se vuelve:

$$X_n = D^{f(n)}t_n^2 + A^{f(n)}t_n + B^{f(n)} + W_n \quad ; \quad n = 1, 2, \dots, N \quad \text{(Ecuación 14)}$$

donde el parámetro D permite hacer intervenir un término de aceleración en función del tiempo.

La ecuación 9 se vuelve:

$$(\hat{A}_l, \hat{B}_l, \hat{D}_l) = \underset{A, B, D}{\text{Arg Máx}} \sum_{m=0}^l \sum_{p=0}^{N-1} \frac{g(X_{mN+p} - Dt_{mN+p}^2 - At_{mN+p} - B)}{q^n + q' g(X_{mN+p} - D't_{mN+p}^2 - A't_{mN+p} - B')} \quad \text{(Ecuación 15)}$$

La ecuación 10 se vuelve:

$$(\hat{A}_l^k, \hat{B}_l^k, \hat{D}_l^k) = \underset{A, B, D}{\text{Arg Máx}} \sum_{m=0}^l \sum_{p=0}^{N-1} \frac{g(X_{mN+p} - Dt_{mN+p}^2 - At_{mN+p} - B)}{\hat{t}_{l-1}^k + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \hat{q}_{l-1}^j g(X_{mN+p} - \hat{D}_{(m-1)N+p}^j t_{mN+p}^2 - \hat{A}_{(m-1)N+p}^j t_{mN+p} - \hat{B}_{(m-1)N+p}^j)}$$

(Ecuación 16)

El procesamiento recursivo de la ecuación 11 puede generalizarse de forma similar, así como las ecuaciones 12 y 13.

- 10 En el transcurso de una etapa Etp3, la información de estado de ambigüedad de las pistas se publica con la pista. Según un modo de implementación, cada pista comprende, por ejemplo, un indicador que indica el estado de ambigüedad y, por lo tanto, si la medición corresponde a una extrapolación o a una medición verdadera. Esto permite saber en la salida si la publicación de la pista procede de cálculos sobre las mediciones (caso de la pista fuera de una zona de ambigüedad) o procede de la memoria de la pista (caso del paso de la pista en zona de ambigüedad). El dispositivo de procesamiento aguas abajo hacia el que se publican los datos sabe, de este modo, de entre los datos transmitidos, cuáles son ambiguos y cuáles no lo son.

- 20 El procedimiento de gestión de cruces según la invención puede aplicarse al seguimiento de objetos móviles como, por ejemplo, unas aeronaves o unos barcos. Puede implementarse por uno o varios dispositivos de seguimiento de objeto móvil que comprende al menos un sensor. El o los sensores pueden ser unos sensores pasivos, unos sensores de radar, unos sensores de sonar, unos sensores oprónicos o cualesquiera combinaciones de estos sensores.

La invención tiene como objeto, igualmente, un dispositivo de seguimiento de objetos móviles adaptado para implementar el procedimiento de gestión de cruces descrito anteriormente.

La figura 3 representa un ejemplo de modo de realización de un dispositivo de seguimiento de objetos móviles según la invención.

- 25 El dispositivo comprende al menos un sensor 31 que suministra diferentes mediciones correspondientes a unos objetos que se desplazan en la zona vigilada. Según un modo de realización, el o los sensores 31 pueden ser unos sensores de Medición de Inteligencia Electrónica (o ESM), unos sensores de radar, unos sensores oprónicos o cualesquiera combinaciones de estos sensores en el caso de un dispositivo de sensores múltiples.

- 30 Un módulo de seguimiento 32 toma cada vector de mediciones  $X_n$  para actualizar las pistas correspondientes en una tabla de las pistas 33. Este módulo efectúa el seguimiento en el tiempo de los objetos móviles usando una tabla de las pistas 33 que memoriza unas informaciones sobre los objetos seguidos y usando los vectores de mediciones o puntos  $X_n$ .

- 35 La tabla de las pistas 33 contiene, para cada objeto seguido, las informaciones actuales y unas informaciones que resumen los vectores de mediciones recibidos en un pasado cercano. La tabla de las pistas 33 contiene, de este modo, el mismo tipo de información que las mediciones, es decir, una o varias informaciones de posición relativa que indica la situación del objeto en el espacio en relación con el sensor y eventualmente unas informaciones de descripción de los objetos seguidos. El contenido de la tabla de las pistas 33 evoluciona, de este modo, con el paso del tiempo en función de las mediciones proporcionadas por el o los sensores 31.

El dispositivo según la invención comprende, igualmente, un módulo de seguimiento 32. Este módulo tiene, en primer

- 5 lugar, como finalidad determinar a qué pista, en la tabla 33, atribuir un vector de mediciones y, a continuación, actualizar las informaciones de la pista usando los datos más recientes contenidos en el vector de mediciones. El módulo de seguimiento 32 también puede crear una nueva pista si un vector de mediciones no puede asociarse a una pista existente en la tabla o eventualmente suprimir una pista si ya no hay una actualización para esta pista desde hace largo tiempo.
- Un módulo de gestión de cruces 34 llega a actuar sobre la tabla de las pistas en caso de ambigüedad entre pistas aplicando un conjunto de procesamientos suplementarios, como se ha visto anteriormente. Este módulo 34 llega a completar el procesamiento de seguimiento de los objetos.
- 10 El dispositivo de seguimiento comprende un módulo de publicación 35 configurado para transmitir hacia el exterior unas informaciones sobre el seguimiento de los objetos. Los datos publicados pueden corresponder a lo que es nuevo como, por ejemplo, una o varias pistas nuevas o unas evoluciones recientes de pistas. Estos datos se transmiten, por ejemplo, a otro sistema, a una o varias fases de procesamiento más aguas abajo, como una visualización en pantalla, otra plataforma en el caso donde el dispositivo está implantado en un sistema de plataformas múltiples, etc.
- 15 Los diferentes módulos descritos anteriormente pueden ser uno o varios microprocesadores, procesadores, ordenadores o cualesquiera otros medios equivalentes programados de forma oportuna.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de gestión de cruces de pistas implementado por al menos un dispositivo de seguimiento de objetos móviles que comprende un grupo de al menos un sensor (31), consistiendo el seguimiento de objetos móviles en estimar un conjunto de pistas correspondientes a los diferentes objetos móviles percibidos por el grupo de al menos un sensor (31), correspondiendo cada pista a un conjunto de puntos sucesivos que traducen el movimiento de un mismo objeto móvil, estando dicho procedimiento **caracterizado porque** comprende para cada pista en un instante considerado, una etapa Etp1 de prueba, con el fin de determinar si la pista considerada es ambigua o no en el instante considerado, diciéndose que una pista k no es ambigua en el instante  $t_l$ , si verifica, la relación:

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \hat{q}_{l-1}^j g(\hat{C}_{l-1}^k + \hat{A}_{l-1}^k(t_l - t_{l-1}) - \hat{C}_{l-1}^j - \hat{A}_{l-1}^j(t_l - t_{l-1})) < \varepsilon \cdot \hat{r}_{l-1}^k$$

- 10 O si para cualquier pista  $j \neq k$  verifica la relación:

$$\left\| \hat{C}_{l-1}^k + \hat{A}_{l-1}^k(t_l - t_{l-1}) - \hat{C}_{l-1}^j - \hat{A}_{l-1}^j(t_l - t_{l-1}) \right\| > S$$

En las que:

- K representa el número total de pistas creadas hasta el instante l-1,  
 $\hat{q}_{l-1}^j$  representa la estimación de la proporción de puntos clasificados en la pista j hasta el instante l-1,  
 15 g(.) representa una densidad de probabilidad,  
 $\hat{C}_{l-1}^j = \hat{A}_{l-1}^j t_{l-1} + \hat{B}_{l-1}^j$  representa la estimación del vector de posición de la pista j en el instante  $t_{l-1}$ ,  
 $\hat{A}_{l-1}^j$  representa la estimación de la velocidad de la pista j en el instante  $t_{l-1}$  y  $\hat{B}_{l-1}^j$  la estimación del vector de posición de la pista j en el instante t=0,  
 20  $\hat{r}_{l-1}^k = \hat{q}_{l-1}^k / c$  donde  $\hat{q}_{l-1}^k$  representa la estimación de la proporción de los puntos  $X_n$  clasificados en una pista alejada de la pista k y c la integral del campo de las mediciones admisibles  
 $\| \cdot \|$  representa el estándar definido para un vector  $X=(X_p)$  por  $\|x\| = \sup \left( \frac{|x_p|}{\sigma_p} \right)$  con  $\sigma_p$  la desviación tipo para el  $p^{nsm}$  componente de X en la densidad g(X),  
 S representa un umbral predeterminado

y, si la pista es ambigua, una etapa Etp2 de procesamiento específico de la estimación de la pista.

- 25 2. Procedimiento según la reivindicación anterior, según el cual comprende, además, una etapa Etp3 de notificación del estado de ambigüedad de la pista bajo prueba en el instante considerado.  
 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, según el cual la etapa de procesamiento específico de las estimaciones de las pistas en estado de ambigüedad en un instante  $t_l$  es efectuada por un filtro recursivo definido por:

$$\begin{cases} \hat{C}_l^k = \hat{C}_{l-1}^k + \hat{A}_{l-1}^k(t_l - t_{l-1}) + \hat{\alpha}_{l-1}^k M_1 g'(X_l - \hat{C}_{l-1}^k - \hat{A}_{l-1}^k(t_l - t_{l-1})) \\ \hat{A}_l^k = \hat{A}_{l-1}^k + \hat{\alpha}_{l-1}^k M_2 g'(X_l - \hat{C}_{l-1}^k - \hat{A}_{l-1}^k(t_l - t_{l-1})) \end{cases}$$

Donde

- $X_l$  representa el punto medido en el instante  $t_l$   
 $\hat{C}_l^k = \hat{A}_l^k t_l + \hat{B}_l^k$  representa la estimación de la pista considerada en el instante  $t_l$ ,  
 35  $\hat{\alpha}_{l-1}^k$  representa un parámetro de ponderación,  $M_1$  y  $M_2$  representan unas ganancias matriciales que aseguran la estabilidad del filtro  
 $g'(X)$  representa el gradiente de la densidad de probabilidad g(.).  
 4. Procedimiento según la reivindicación anterior, según el cual el parámetro  $\hat{\alpha}_{l-1}^k$  está definido por

$$\hat{\alpha}_{l-1}^k = \frac{\hat{r}_{l-1}^k}{\hat{r}_{l-1}^k + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \hat{q}_{l-1}^j g(X_l - \hat{C}_{l-1}^j - \hat{A}_{l-1}^j(t_l - t_{l-1}))}$$

Donde

$$\hat{r}_{l-1}^k = \hat{q}_{l-1}^k / c$$

- 5  $\hat{q}_{l-1}^j$  representa la proporción de los puntos  $X_n$  clasificados en la pista j en el instante l-1,  
 $\hat{C}_{l-1}^j$  representa la estimación de la pista considerada,  
 $\hat{A}_{l-1}^j$  representa la estimación de la velocidad de la pista considerada

5. Procedimiento según la reivindicación 3, según el cual el parámetro  $\hat{\alpha}_{l-1}^k$  es igual a 0 cuando la pista es ambigua y es igual a 1 en el caso contrario.

10 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, según el cual, si la duración durante la que se considera una pista como ambigua es superior a un umbral predeterminado, dicha pista se considera como no ambigua.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, según el cual el grupo de al menos un sensor se elige de entre unos sensores pasivos, unos sensores de radar, unos sensores de sonar, unos sensores oprónicos o cualesquiera combinaciones de estos sensores.

15 8. Dispositivo de seguimiento de objetos móviles adaptado para implementar el procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** comprende un grupo de al menos un sensor (31), un módulo de seguimiento (32) configurado para efectuar el seguimiento en el tiempo de los objetos móviles a partir de los puntos y elaborar y/o actualizar unas pistas, una tabla de las pistas (33) que contiene la lista de las pistas seguidas por el dispositivo, un módulo de gestión de los cruces (34) configurado para aplicar un conjunto de procesamientos en caso de ambigüedad de pista, diciéndose que una pista k no es ambigua en el instante  $t_l$ , si verifica, la relación:

$$20 \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^K \hat{q}_{l-1}^j g(\hat{C}_{l-1}^k + \hat{A}_{l-1}^k(t_l - t_{l-1}) - \hat{C}_{l-1}^j - \hat{A}_{l-1}^j(t_l - t_{l-1})) < \varepsilon \cdot \hat{r}_{l-1}^k$$

O si para cualquier pista  $j \neq k$  verifica la relación:

$$\left\| \hat{C}_{l-1}^k + \hat{A}_{l-1}^k(t_l - t_{l-1}) - \hat{C}_{l-1}^j - \hat{A}_{l-1}^j(t_l - t_{l-1}) \right\| > S$$

En las que:

- 25 K representa el número total de pistas creadas hasta el instante l-1,  
 $\hat{q}_{l-1}^j$  representa la estimación de la proporción de puntos clasificados en la pista j hasta el instante l-1,  
 $g(\cdot)$  representa una densidad de probabilidad,  
 $\hat{C}_{l-1}^j = \hat{A}_{l-1}^j t_{l-1} + \hat{B}_{l-1}^j$  representa la estimación del vector de posición de la pista j en el instante  $t_{l-1}$ ,  
 $\hat{A}_{l-1}^j$  representa la estimación de la velocidad de la pista j en el instante  $t_{l-1}$  y  $\hat{B}_{l-1}^j$  la estimación del vector de posición de la pista j en el instante  $t=0$ ,  
 30  $\hat{r}_{l-1}^k = \hat{q}_{l-1}^k / c$  donde  $\hat{q}_{l-1}^k$  representa la estimación de la proporción de los puntos  $X_n$  clasificados en una pista alejada de la pista k y c la integral del campo de las mediciones admisibles

$\|\cdot\|$  representa el estándar definido para un vector  $X=(X_p)$  por  $\|X\| = \sup \left( \frac{|x_p|}{\sigma_p} \right)$  con  $\sigma_p$  la desviación tipo para el  $p^{nsm}$  componente de X en la densidad  $g(X)$ ,

35 S representa un umbral predeterminado.

y un módulo de publicación (35) configurado para transmitir hacia el exterior unos datos de la tabla de las pistas (33).

9. Dispositivo según la reivindicación anterior, según el cual el grupo de al menos un sensor (31) se elige de entre unos sensores pasivos, unos sensores de radar, unos sensores de sonar, unos sensores oprónicos o cualesquiera combinaciones de estos sensores.

40

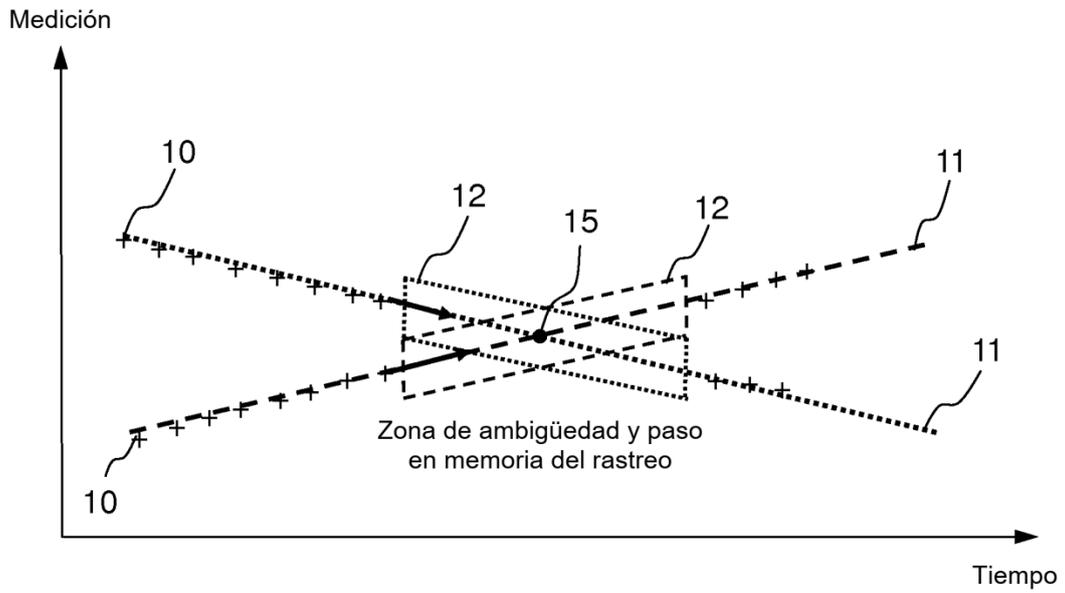


FIG.1

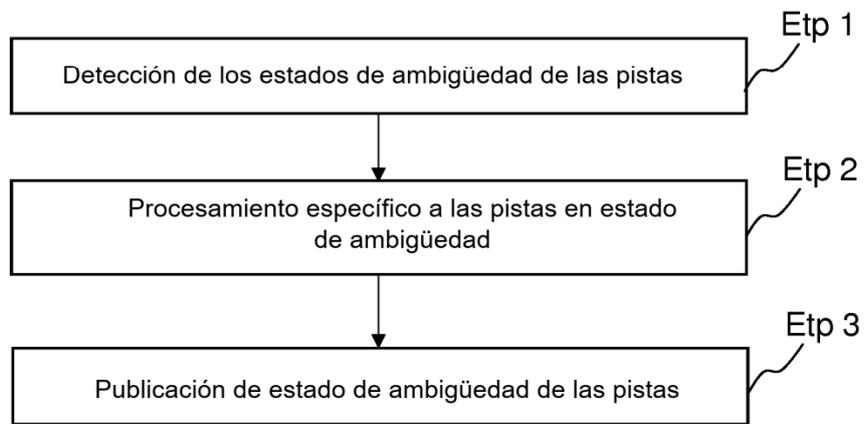


FIG.2

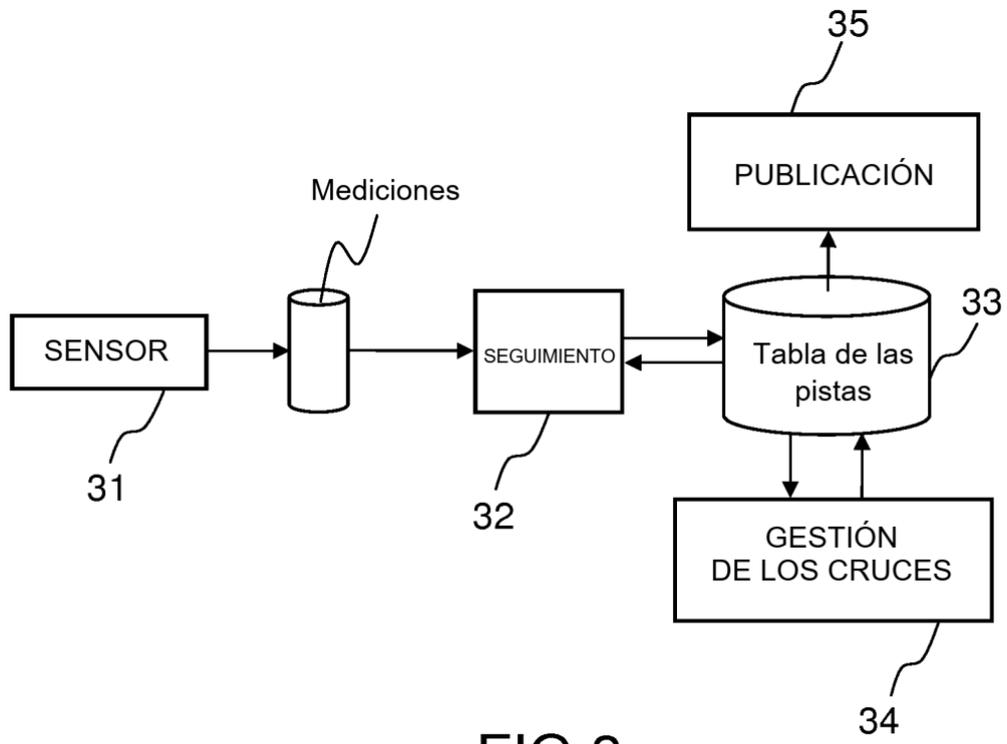


FIG.3