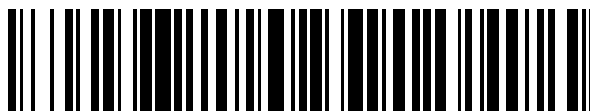


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 685 511**

51 Int. Cl.:

G01S 13/72 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.04.2011** **E 11002914 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.06.2018** **EP 2385393**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para el seguimiento de la trayectoria de un objeto en movimiento así como programa informático y soporte de datos**

30 Prioridad:

03.05.2010 DE 102010019147

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

09.10.2018

73 Titular/es:

**MBDA DEUTSCHLAND GMBH (100.0%)
Hagenauer Forst 27
86529 Schrobenhausen, DE**

72 Inventor/es:

**SCHÖTTL, ALFRED DR. y
KALENDER, CAROLYN**

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 685 511 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 y dispositivo para el seguimiento de la trayectoria de un objeto en movimiento así como programa informático y soporte de datos

5

CAMPO DE LA INVENCION

[0001] La presente invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo para el seguimiento de la trayectoria de un objeto en móvil. Además, se refiere a un programa informático que implementa este procedimiento, así como un soporte de datos con un programa informático de este tipo.

10

ESTADO DE LA TÉCNICA

[0002] Tales procedimientos de este tipo, que también se designan en general como procedimientos de "seguimiento (*tracking*)", se conocen en general y se describen, por ejemplo, en el documento de referencia Zhang, H.; Laneuville, D.: Grid Based Solution of Zakai Equation with Adaptative Local Refinement for Bearings-only Tracking, IEEE Aerospace Conference 2008, páginas 1 a 8. Tales procedimientos conocidos se usan, por ejemplo, para poder determinar la trayectoria de misiles en sí con exactitud proporcionalmente grande y predecir el movimiento del misil, cuando sólo están presentes pocas localizaciones y posiblemente erróneas del misil. Las localizaciones de este tipo se pueden realizar, por ejemplo, mediante mediciones de radiación de uno o varios dispositivos de medición.

15

Usando todos los datos de medición disponibles hasta un instante actual de las localizaciones de este tipo del objeto se debe determinar en primer lugar una vez la posición actual del objeto. Esto se debe realizar a ser posible a tiempo real o tiempo casi real, dado que por ejemplo para el combate de un misil que se acerca volando se requiere reconocer al menos la posición actual del misil y incluso predecir en lo posible la trayectoria posterior del misil.

20

[0003] Junto a la posición del objeto, por ejemplo, de un misil, también se está interesado en general en otras magnitudes de estado, como por ejemplo, el vector de velocidad o parámetros de modelos de maniobra, como los coeficientes balísticos, pues un misil en vuelo no se mueve a lo largo de una trayectoria lineal con velocidad uniforme, sino que está controlado de modo que vuela realizando maniobras tácticas.

25

[0004] Además, también puede ser requerido determinar estimaciones de las magnitudes de estado (inclusive de los datos de posición) del objeto para los instantes pasados (así denominado suavizado) o para instantes futuros (así denominada predicción). También puede ser deseable poder procesar las mediciones que sólo están a disposición en instantes posteriores, es decir, no en tiempo real (así denominados tiempos de latencia).

30

[0005] Si el objeto describiese un movimiento lineal, o se modificasen las magnitudes de estado del objeto de manera lineal, entonces en el caso de una distribución inicial distribuida de forma normal y errores de medición distribuidos de forma normal se podría realizar un cálculo con esfuerzo relativamente bajo mediante filtros de Kalman. No obstante, en la práctica es tal que los estados del objeto se modifican de manera no lineal. Un misil puede desacelerar, acelerar o modificar abruptamente la dirección, por ejemplo, en una maniobra de distracción, de modo que luego no es posible una determinación de trayectoria con un filtrado de Kalman o sólo de forma muy inexacta. Si por tanto, como en la práctica, se deben describir los movimientos interesantes y otras magnitudes de estado del objeto en movimiento mediante ecuaciones no lineales, con frecuencia no es posible una determinación óptima del valor estimado en una forma cerrada.

35

[0006] El problema se puede describir ahora en forma de ecuaciones diferenciales estocásticas para el vector de estado del sistema multidimensional X_t y la medición en general multidimensional Y_t ,

$$dX_t = f(t, X_t)dt + \sigma(t, X_t)dW_t$$

$$dY_t = g(t, X_t)dt + v(t, X_t)dV_t$$

40

A este respecto f , g , σ , v son funciones apropiadas, y W y V son dos movimientos brownianos, que reproducen el ruido del sistema o de la medición. X_t describe a este respecto el estado completo del movimiento en el instante t , así contiene por ejemplo la posición y la velocidad en el instante t .

[0007] Análogamente también se puede describir el sistema de forma discreta en el instante t_k

$$X_{k+1} = f(t_k, X_k) + \sigma(t_k, X_k)W_k$$

$$Y_{k+1} = g(t_k, X_k) + \nu(t_k, X_k)V_k$$

5 con variables aleatorias W_k y V_k distribuidas normalmente.

[0008] Se conocen una serie de procedimientos de aproximación para problemas de filtrado no lineales.

10 [0009] Los *filtros de Kalman extendidos* y otros procedimientos de linealización linealizan las ecuaciones del sistema y resuelven el problema linealizado. Según el grado de la no linealidad en el sistema son inevitables claras inexactitudes hasta la divergencia del filtro.

[0010] Métodos de sampling como *filtros de partículas* o *filtros "unscented"* consideran el comportamiento del sistema para algunos vectores de estado apropiados x , que se seleccionan al azar o sistemáticamente. Dado que los problemas realistas requieren por ejemplo vectores de estado con cinco a diez dimensiones, el uso de unos pocos vectores de estado del sistema en dimensiones más elevadas conduce a inexactitudes elevadas.

[0011] Un tratamiento exacto del problema se realiza por ejemplo mediante consideración de la función de densidad condicionada

$$p_t(x) := \frac{\partial}{\partial x} P(X_t \leq x | Y_s, s \leq t).$$

A este respecto $P(X_t \leq x | Y_s, s \leq t)$ es la probabilidad de que el vector de estado aleatorio desconocido adopte en el instante t un valor menor o igual x , en el caso de mediciones dadas hasta el instante t .

[0012] Se conoce que la función de densidad condicionada p_t contiene la información completa sobre el movimiento del objeto en el instante t . La estimación óptima \bar{X}_t del estado del sistema (en el sentido de la minimización de la varianza de error) se produce por ejemplo como expectativa condicionada, es decir, mediante integración de la función de densidad,

$$\bar{X}_t = \int x p_t(x) dx.$$

[0013] La determinación exacta de esta función de densidad resuelve el problema así exactamente. En el caso continuo se puede mostrar que la función de densidad satisface la ecuación diferencial parcial

$$\partial p_t = \left[-\sum_k \frac{\partial}{\partial x_k} (f_k(t, x) p_t(x)) + \frac{1}{2} \sum_{i,k} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_k} (b_{ik}(t, x) p_t(x)) \right] dt + [g(t, x) p_t(x) - \pi_t(g(t, X_t)) p_t(x)] \frac{d\tilde{W}}{\nu(t, x)}$$

con $b(t, x) := \sigma(t, x) \sigma(t, x)^T$. A este respecto $\pi_t(g(t, X_t))$ es la estimación de la magnitud $g(t, X_t)$ y \tilde{W} el proceso de innovación, las ecuaciones de este tipo también se denominan *ecuaciones de Zakai*.

[0014] La componente $-\sum_k \frac{\partial}{\partial x_k} (f_k(t, x) p_t(x))$ determina el "desplazamiento" de la función de densidad y

$$\frac{1}{2} \sum_{i,k} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_k} (b_{ik}(t, x) p_t(x))$$

se denomina *término de advección*, el término $\frac{1}{2} \sum_{i,k} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_k} (b_{ik}(t, x) p_t(x))$ determina la "ampliación" de la función de densidad y se llama *término de difusión*. Estas dos componentes sirven para la predicción del comportamiento del sistema sin el uso de mediciones. La ecuación correspondiente

$$\partial p_t = \left[-\sum_k \frac{\partial}{\partial x_k} (f_k(t, x) p_t(x)) + \frac{1}{2} \sum_{i,k} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_k} (b_{ik}(t, x) p_t(x)) \right] dt$$

5

se llama ecuación de *Fokker-Planck*.

[0015] El último término de la ecuación diferencial parcial estocástica (término de medición) describe la ganancia de información mediante el uso de las mediciones. En el caso discreto, es decir, el caso que sólo estén presentes mediciones en instantes discretos, esta parte se corresponde con la ecuación de la *fórmula de Bayes*. Formulas análogas también existen en discreto (es decir, la medición y/o el sistema mismo sólo se considera en instantes discretos) así como en el problema de predicción o en el problema de suavizado.

10
15 **[0016]** Zhang y Laneuville (Zhang, H.; Laneuville, D.: Grid Based Solution of Zakai Equation with Adaptive Local Refinement for Bearings-only Tracking. IEEE Aerospace Conference 2008, pág. 1-8) resuelven una ecuación de este tipo mediante procedimientos numéricos. Para ello la función p_t se representa en una malla regular afinada localmente de puntos de apoyo y se discretiza la ecuación. De esta manera se pudieron tratar problemas hasta cuatro dimensiones. Dado que el esfuerzo aumenta exponencialmente con el número de las dimensiones, una transmisión a 20 dimensiones más elevadas sólo es posible con dificultades.

[0017] En los últimos años se ha introducido como nuevos enfoques las así denominadas "mallas dispersas" para la interpolación de funciones de más dimensiones de Zenger [Zenger, C.: Sparse Grids. En W. Hackbusch (Hrsg.): Parallel Algorithms for Partial Differential Equations. Braunschweig: Vieweg, 1991 (Notes on Numerical Fluid 25 Mechanics 31), páginas 241 a 251]. En el documento DE 100 62 120 A1 se describe este enfoque en la matemática financiera para la evaluación de derivadas financieras. Estas mallas necesitan en el espacio d-dimensional $O(N(\log N)^{d-1})$ puntos, es decir, sustancialmente menos que una malla regular con $O(N^d)$ puntos.

REPRESENTACIÓN DE LA INVENCION

30

[0018] El objetivo de la presente invención es por ello perfeccionar un procedimiento genérico que, teniendo en cuenta una pluralidad de parámetros, es decir, en el caso de planteamientos de problemas dimensionales en más de cuatro dimensiones, también se pueda realizar de forma eficiente, por ejemplo a tiempo real. El objetivo de la invención también es especificar un dispositivo correspondiente para el seguimiento de la trayectoria de un objeto en 35 movimiento.

[0019] El primer objetivo se consigue mediante el procedimiento para el seguimiento de la trayectoria de un objeto en movimiento con las características de la reivindicación 1.

40 **[0020]**

Este procedimiento según la invención presenta las siguientes etapas:

- a) facilitación de datos de al menos una magnitud de estado a determinar, que influye en el movimiento, del objeto en movimiento en un primer instante;
- b) inicialización de la densidad de probabilidad (p) de la al menos una magnitud de estado a determinar en el primer 45 instante;
- c) predicción de la densidad de probabilidad (p) de la al menos una magnitud de estado a determinar en un instante siguiente situado después del primer instante;
- d) verificación de si los datos de medición están presentes, los cuales se pueden consultar para un cálculo de la densidad de probabilidad (p) de la al menos una magnitud de estado a determinar, y
- 50 d') si están presentes datos de medición de este tipo, nuevo cálculo de la densidad de probabilidad (p) con estos datos de medición;
- e) cálculo de los valores de predicción de la(s) magnitud(es) de estado a determinar a partir de la densidad de

probabilidad (p);

f) entrega de los datos de predicción calculados a un dispositivo de procesamiento de datos subordinados;

g) repetición de las etapas c) hasta f);

5 en el que según la invención las etapas

- de la inicialización de la densidad de probabilidad [etapa b)],

- de la predicción de la densidad de probabilidad [etapa c)],

- del nuevo cálculo de la densidad de probabilidad [etapa d')] y

10 - del cálculo de los valores de predicción [etapa e)]

se realizan mediante discretización de la densidad de probabilidad (p) en mallas dispersas

VENTAJAS

15

[0021] La idea base de la invención consiste así en realizar las discretizaciones de la densidad de probabilidad respectivamente en mallas dispersas durante los cálculos para el seguimiento de la trayectoria, es decir, por ejemplo resolver las ecuaciones diferenciales parciales estocásticas mencionadas arriba en mallas dispersas.

20 **[0022]** Con este procedimiento según la invención, debido a la complejidad menor de las mallas dispersas y por consiguiente de los cálculos, se pueden obtener tiempos de cálculo claramente más cortos que para mallas convencionales, en particular para dimensiones más elevadas, es decir, para más estados del objeto. Esto no fue posible con los procedimientos conocidos hasta ahora para la solución de la ecuación diferencial arriba mencionada.

25 **[0023]** El procedimiento según la invención y un dispositivo tal que implementa un procedimiento semejante se pueden usar ventajosamente para los casos expuestos al inicio.

[0024] Otras características de configuración preferidas y ventajosas del procedimiento según la invención son objeto de las reivindicaciones dependientes 2 a 10.

30

[0025] Es ventajoso que las mallas dispersas estén adaptadas a las dimensiones. De este modo se puede realizar una adaptación individual de la malla dispersa a la dimensión correspondiente y la resolución requerida allí para un cálculo óptimo.

35 **[0026]** También es ventajoso que las mallas dispersas estén afinadas localmente. Esto significa que la malla dispersa presenta en una zona, en la que se requiere o desea una resolución elevada, distancias más cortas localmente entre los puntos de malla en una o varias dimensiones. De este modo la capacidad de cálculo se puede enfocar de forma concentrado para los cálculos en esta zona.

40 **[0027]** En una variante preferida del procedimiento según la invención, la discretización de las densidades de probabilidad se realiza secuencialmente en mallas dispersas para los puntos de malla individuales. Este modo de proceder secuencial permite una exploración consecutiva sistemática de los cálculos.

45 **[0028]** Pero también es ventajoso que la discretización de las densidades de probabilidad se realice en paralelo en mallas dispersas para los puntos de malla individuales. De este modo en el caso de una arquitectura de cálculo apropiada se pueden obtener tiempos de cálculo esencialmente más cortos. El procedimiento se vuelve de este modo claramente más rápido sin disminuir la calidad de resultados, es decir, sin tener que aceptar pérdidas de exactitud.

50 **[0029]** Otra forma de realización ventajosa del procedimiento según la invención se destaca porque en la etapa b) antes de la primera discretización de la densidad de probabilidad se proporcionan datos, que definen el número de los puntos de malla y las distancias entre los puntos de malla para cada dimensión de la malla dispersa y así determinar una unidad de malla dispersa y porque se define una región de malla dispersa que presenta al menos una unidad de malla dispersa.

55 **[0030]** De este modo todavía antes del comienzo de la etapa de inicialización se puede fijar una región de malla dispersa adaptada a la problemática correspondiente individualmente en las dimensiones (número y posición de las unidades de malla dispersa) a partir de una o varias unidades de malla dispersa adaptadas individualmente en las dimensiones (número de los puntos de malla por dimensión y distancia entre los puntos de malla correspondientes), a fin de adaptar el procedimiento todavía mejor a la problemática individual del seguimiento de la trayectoria.

[0031] También es ventajoso que antes de la etapa c), preferentemente en la etapa b), se realice la definición de una primera magnitud de decisión dependiente de la densidad de probabilidad y que después de la etapa e) se realicen las etapas siguientes:

5

e1) verificación de si la primera magnitud de decisión se sitúa en una unidad de malla dispersa por debajo de un valor umbral predeterminado y
e2) si este es el caso, retirada de la unidad de malla dispersa verificada de la región de malla dispersa.

[0032] Esta modificación del procedimiento según la invención permite mantener pequeña la región de malla dispersa requerida para los cálculos y por consiguiente corto el tiempo de cálculo total, dado que los cálculos de la densidad de probabilidad sólo se realizan en unidades de malla dispersa requeridas localmente y en caso de necesidad, es decir cuando la función de densidad de probabilidad se ha modificado o trasladado debido a un cambio de estado del objeto, la región de malla dispersa se puede reducir en una o varias unidades de malla dispersa.

15

[0033] También es ventajoso que antes de la etapa c), preferentemente en la etapa b), se realice la definición de una segunda magnitud de decisión dependiente de la densidad de probabilidad y que después de la etapa e) o después de la etapa e2) se realicen las siguientes etapas:

e3) verificación de si la segunda magnitud de decisión se sitúa por encima de un valor umbral predeterminado a una distancia predeterminada de un borde de una región de malla dispersa y
e4) si este es el caso, ampliación de la región de malla dispersa en al menos una unidad de malla dispersa adyacente al borde en cuestión de la malla dispersa.

[0034] Esta modificación del procedimiento según la invención también permite mantener pequeña la región de malla dispersa requerida para los cálculos y por consiguiente corto el tiempo de cálculo total, dado que los cálculos sólo se realizan en unidades de malla dispersa requeridas localmente y en caso de necesidad, es decir cuando la función de densidad de probabilidad se ha modificado o trasladado debido a un cambio de estado del objeto, la región de malla dispersa se puede aumentar en una o varias unidades de malla dispersa.

30

[0035] En los dos perfeccionamientos mencionados anteriormente del procedimiento según la invención es ventajoso que la magnitud de decisión sea la relación entre la integral bajo la parte de la densidad de probabilidad puesta a distancia predeterminada del borde de la región de malla dispersa respecto a la integral bajo toda la densidad de probabilidad. Pero alternativamente también se puede recurrir por ejemplo a una relación del valor de la función de densidad de probabilidad en una zona próxima al borde de la región de malla dispersa respecto al valor máximo absoluto o local de la densidad de probabilidad como magnitud de decisión.

35

[0036] Preferentemente los datos proporcionados en la etapa a) se determinan mediante medición o mediante estimación.

40

[0037] La invención también se extiende así sobre programas informáticos y productos de programa informático para el seguimiento de la trayectoria de un objeto en movimiento, en los que está implementado el procedimiento según la invención, así como sobre soportes de datos en los que están almacenados programas o productos de programa de este tipo.

45

[0038] Por la invención también están comprendidos los dispositivos para la localización y seguimiento de objetos en movimiento (en particular de misiles), que usan el procedimiento según la invención.

[0039] Ejemplos de realización preferidos de la invención con detalles de configuración adicionales y otras ventajas se describen y explican más en detalle a continuación en referencia a los dibujos adjuntos.

50

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0040] Muestra:

55

Fig. 1 un ejemplo de una malla dispersa bidimensional;

Fig. 2 una representación esquemática del desarrollo del procedimiento según la invención;

Fig. 3 un ejemplo de un embaldosado de unidades de malla dispersa formando una región de malla dispersa;

Fig. 4a una representación de un estado real verdadero de un ángulo de línea visual acimutal y de una estimación de Kalman extendida del ángulo de línea visual acimutal;

5

Fig. 4b una representación de un estado real verdadero de un ángulo de línea visual acimutal y de una estimación de malla dispersa del ángulo de línea visual acimutal.

REPRESENTACIÓN DE EJEMPLOS DE REALIZACIÓN PREFERIDOS

10

[0041] La fig. 1 muestra un ejemplo de una malla dispersa bidimensional de estructura simétrica, según se conoce ya en general.

15

[0042] La fig. 2 es una representación esquemática del desarrollo del procedimiento según la invención, que se describe a continuación mediante esta figura. A este respecto, la referencia 1 designa esquemáticamente un dispositivo de cálculo, en el que está implementado y se desarrolla el procedimiento según la invención en un software.

20

[0043] Los datos de entrada se proporcionan y depositan en una memoria 2 y se realizan todas inicializaciones requeridas. La predicción del movimiento se calcula respectivamente en instantes discretos. Para ello en cualquier lapso de tiempo se discretiza la ecuación diferencial en mallas dispersas y se resuelve la ecuación discreta resultante. Partiendo de la aproximación así calculada de la función de densidad p_i se determina una predicción del estado de movimiento actual. Para el ahorro de tiempo de cálculo no se discretiza todo el espacio de estado, sino que sólo se discretizan las regiones del espacio de estado relevantes en cada lapso de tiempo. Esta selección de región siempre se adapta de nuevo a la aproximación actual de la función de densidad.

25

[0044] La discretización de la ecuación diferencial se realiza mediante diferencias finitas u otra estrategia de discretización en las mallas dispersas. A este respecto se puede seleccionar bajo las distintas posibilidades, según se conocen para advección y difusión, por ejemplo, un término upwind de diferencias finitas para las primeras derivadas que aparecen en la parte de advección y diferencias finitas simétricas para las segundas derivadas.

30

[0045] La discretización temporal se realiza, por ejemplo, mediante un paso de Euler. En la fijación de la amplitud del lapso de tiempo se deben observar las condiciones de estabilidad conocidas para las ecuaciones de difusión de advección.

35

[0046] También es posible, pero no necesario forzosamente, modificar la malla dispersa estándar en el espacio de estado, por ejemplo, mediante afinamiento dependiente de la dimensión o estrategias de afinamiento adaptativas locales.

40

[0047] Los datos de medición de radar llegan conforme al término de medición de la ecuación diferencial en cada uno de los puntos de malla dispersa (puntos de malla) en forma de una ponderación conforme a la fórmula de Bayes o su análogo continuo

45

[0048] La predicción del estado de movimiento del objeto se obtiene por ejemplo mediante cálculos de los valores esperados

$$\bar{x}_i = \int x p_i(x) dx$$

mediante integración. El cálculo se realiza en este caso con un procedimiento numérico de integración en las mallas dispersas usando la función de densidad calculada de forma aproximada.

50

[0049] El término de advección de la ecuación diferencial se puede ocupar según los valores concretos f_k de que la solución de la ecuación diferencial se extiende a lo largo de todo es período de tiempo de solución, en una región de estado muy grande. Para resolver este problema ahorrando tiempo de cálculo, en cada lapso de tiempo no se discretiza toda la región de estado posible, sino sólo la respectiva región relevante actualmente. Esto es posible dado que las funciones de densidad están fuertemente localizadas en general.

55

[0050] La región relevante 10 recubre por ello, según se muestra en la fig. 3, mediante mallas dispersas

individuales, así denominadas unidades de malla dispersa 11, 12, 13, 14, 15, 16, que están conectadas a través de puntos de complemento de malla 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 adaptados correspondientemente a sus bordes y esquinas formando una región de malla dispersa 10. Si la región de información esencial migra ahora a lo largo del tiempo en el espacio de estado (es decir, en la región de malla dispersa 10), entonces allí donde se requiere se ponen otras unidades de malla dispersa mediante puntos de complemento de malla adaptados correspondientemente, para discretizar esta región, y en los puntos de la región de malla dispersa 10, en los que ya no se encuentra información relevante, se retiran las unidades de malla dispersa superfluas. Los puntos de complemento de malla, que son cero-dimensionales, unidimensionales o multidimensionales, forman de esta manera puntos de conexión o "puntos de pegado" entre las unidades de malla dispersa. La región de malla dispersa 10 se componen así de tipo baldosa de unidades de malla dispersa 11, 12, 13, 14, 15, 16 y en caso de necesidad se ensancha o reduce en unidades de malla dispersa ("baldosas"). Un ejemplo de un "embaldosado" se puede ver para el espacio bidimensional en la fig. 3.

[0051] En a fig. 3 está representada simbólicamente una migración de la región de la información esencial mediante la flecha W. Este movimiento de migración condiciona que en la región superior derecha de la región de malla dispersa 10 se apliquen dos nuevas "baldosas", a saber las regiones de malla dispersa 17 y 18 mediante los puntos de complemento de malla requeridos 31, 32, 33, 34 como nueva región parcial B en la región de malla dispersa 10.

[0052] Debido al movimiento de migración W la densidad de información disminuye en la parte inferior izquierda de la región de malla dispersa 10, de modo que se puede cortar esta región parcial A con las dos unidades de malla dispersa 12 y 15, así como los puntos de complemento de malla 22, 24, 25 y 27 asociados a ellas, es decir, se pueden retirar de la región de malla dispersa 10.

[0053] La región de malla dispersa 10 migra de esta manera con la región de la información esencial.

[0054] Los términos de región de malla dispersa, unidad de malla dispersa y embaldosado no están limitados a las formas de aparición bidimensionales, sino que están marcados de forma multidimensional conforme al número de las magnitudes de estado a determinar.

[0055] Una reducción del tiempo de cálculo adicional se puede conseguir mediante puesta en paralelo de los procedimientos. Así en un enfoque de diferencias finitas puras es posible la solución en paralelo de la parte de advección-difusión de la ecuación diferencial en los puntos de malla individuales (puntos de malla), tanto como la actualización de medición conforme a la fórmula de Bayes. Independientemente de la discretización se pueden procesar en paralelo las diferentes funciones de densidad que parecen durante el uso de una detección de cambio de maniobra.

[0056] En conjunto con este modo de proceder se pueden obtener debido a la complejidad menor de las mallas dispersas tiempos de cálculo claramente más cortos que para mallas convencionales, en particular para dimensiones mayores, es decir, para una pluralidad de magnitudes a determinar. Esto no era posible con los procedimientos conocidos hasta ahora para la solución de la ecuación diferencial expuesta al inicio.

[0057] Según la descripción arriba mencionada se ha creado un dispositivo que para un espacio de estado de seis dimensiones realiza la predicción de un movimiento del misil en el caso de datos de medición de radar dados con la ayuda de la técnica de malla dispersa que implementa el procedimiento según la invención. Se ha simulado, por ejemplo, un movimiento de un objeto de 20s. El tiempo de simulación era menor de 10s.

[0058] En comparación a ello se remite al estado de la técnica (Zhang, H.; Laneuville, D.: Approximation of Zakai equation by grid based method. Diapositivas de conferencia, workshop de seguimiento multiobjetivo, Bordeaux, Francia, 13-15 de mayo de 2009, <http://www.math.u-bordeaux.fr/~fcaron/Docs/mttworkshop-zhang.pdf>) donde en el caso de un modo de proceder convencional, en base a mallas regulares, afinadas localmente para el movimiento del objeto durante 800 s con sólo 4 estados se especifica un tiempo de simulación de 3 h.

[0059] En la figura 4a se puede ver la predicción del ángulo de elevación acimutal mediante un filtro de Kalman extendió en comparación del valor verdadero.

[0060] En la figura 4b se puede ver la predicción del ángulo de elevación acimutal mediante la nueva estimación de malla dispersa que aplica los procedimientos según la invención en comparación al valor verdadero.

[0061] Es evidente que el resultado de la predicción con el procedimiento según la invención en la fig. 4b se

sitúa claramente más cerca de la curva del estado real que la predicción mediante el filtro de Kalman extendido según la fig. 4a y por consiguiente es esencialmente más exacto.

5 **[0062]** La invención se ocupa en la práctica, por ejemplo, de un dispositivo y un procedimiento para la predicción de movimientos de objetos mediante mediciones de radar con ayuda de mallas dispersas, discretizándose y resolviéndose la ecuación diferencial parcial estocástica a resolver en mallas dispersas (mallas estándares o mallas adaptadas dimensionalmente o mallas afinadas localmente).

10 **[0063]** Otro ejemplo de la invención se refiere a un dispositivo y un procedimiento para la predicción de movimientos de objetos mediante mediciones de radar con ayuda de mallas dispersas, calculándose los valores de predicción interesantes del movimiento a partir de la función de densidad aproximada a las mallas dispersas.

15 **[0064]** Otro ejemplo de la invención se refiere a un dispositivo y un procedimiento para la predicción de movimientos de objetos mediante mediciones de radar con ayuda de mallas dispersas, aproximándose la función de densidad localmente a un “embaldosado” de mallas dispersas que forman unidades de malla dispersa y esta yuxtaposición de mallas dispersas individuales, que forma una región de malla dispersa, se puede modificar temporalmente conforme al movimiento de las regiones relevantes.

20 **[0065]** Finalmente existe una configuración ventajosa de la invención en un dispositivo y un procedimiento para la predicción de movimientos de objetos mediante mediciones de radar con ayuda de mallas dispersas, procesándose en paralelo las etapas de cálculo en mallas dispersas.

25 **[0066]** Las referencias en las reivindicaciones, la descripción y los dibujos sólo sirven para la mejor comprensión de la invención y no deben limitar el ámbito de protección.

LISTA DE REFERENCIAS

Muestran

30 **[0067]**

- 1 Dispositivo de cálculo
- 2 Memoria
- 10 Unidad de malla dispersa
- 35 11 Unidad de malla dispersa
- 12 Unidad de malla dispersa
- 13 Unidad de malla dispersa
- 14 Unidad de malla dispersa
- 15 Unidad de malla dispersa
- 40 16 Unidad de malla dispersa
- 17 Unidad de malla dispersa
- 18 Unidad de malla dispersa
- 21 Punto de complemento de malla
- 22 Punto de complemento de malla
- 45 23 Punto de complemento de malla
- 24 Punto de complemento de malla
- 25 Punto de complemento de malla
- 26 Punto de complemento de malla
- 27 Punto de complemento de malla
- 50 31 Punto de complemento de malla
- 32 Punto de complemento de malla
- 33 Punto de complemento de malla
- 34 Punto de complemento de malla

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el seguimiento de la trayectoria de un objeto en movimiento con las siguientes etapas:
- 5
- a) facilitación de datos de al menos una magnitud de estado a determinar, que influye en el movimiento, del objeto en movimiento en un primer instante;
 - b) inicialización de la densidad de probabilidad (p) de la al menos una magnitud de estado a determinar en el primer instante;
 - 10 c) predicción de la densidad de probabilidad (p) de la al menos una magnitud de estado a determinar en un instante siguiente situado después del primer instante;
 - d) verificación de si los datos de medición están presentes, los cuales se pueden consultar para un cálculo de la densidad de probabilidad (p) de la al menos una magnitud de estado a determinar, y
 - d') si están presentes datos de medición de este tipo, nuevo cálculo de la densidad de probabilidad (p) con estos datos
 - 15 de medición;
 - e) cálculo de los valores de predicción de la(s) magnitud(es) de estado a determinar a partir de la densidad de probabilidad (p);
 - f) entrega de los datos de predicción calculados a un dispositivo de procesamiento de datos subordinados;
 - g) repetición de las etapas c) hasta f);
- 20 **caracterizado porque**
las etapas
- de la inicialización de la densidad de probabilidad etapa b),
 - de la predicción de la densidad de probabilidad etapa c),
 - 25 - del nuevo cálculo de la densidad de probabilidad etapa d') y
 - del cálculo de los valores de predicción etapa e) se realizan mediante discretización de la densidad de probabilidad (p) en mallas dispersas.
2. Procedimiento según la reivindicación 1,
- 30 **caracterizado porque**
las mallas dispersas están adaptadas a la dimensión.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2,
- 35 **caracterizado porque**
las malla dispersas están afinadas localmente.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
- 40 **caracterizado porque**
la discretización de las densidades de probabilidad se realiza secuencialmente en mallas dispersas para puntos de mallas individuales
5. Procedimiento según la reivindicación 1 a 3,
- 45 **caracterizado porque**
la discretización de las densidades de probabilidad se realiza en paralelo en mallas dispersas para puntos de malla individuales.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,
- 50 **caracterizado porque**
en la etapa b) de la primera discretización de la densidad de probabilidad se facilitan datos que definen el número de los puntos de malla y las distancias entre los puntos de malla para cada dimensión de la malla dispersa y así determinan una unidad de malla dispersa y **porque** se define una región de malla dispersa que presenta al menos una unidad de malla dispersa.
7. Procedimiento según la reivindicación 6,
- 55 **caracterizado porque**
- antes de la etapa c), preferentemente en la etapa b), se realiza la definición de una primer magnitud de decisión dependiente de la densidad de probabilidad y
- después de la etapa e) se realizan las siguientes etapas:

e1) verificación de si la primera magnitud de decisión se sitúa en una unidad de malla dispersa por debajo de un valor umbral predeterminado y
e2) si este es el caso, retirada de la unidad de malla dispersa verificada de la región de malla dispersa.

5 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado porque

- antes de la etapa c), preferentemente en la etapa b), se realiza la definición de una segunda magnitud de decisión dependiente de la densidad de probabilidad y
- después de la etapa e) o etapa e2) se realizan las siguientes etapas:

10

e3) verificación de si la segunda magnitud de decisión se sitúa por encima de un valor umbral predeterminado a una distancia predeterminada de un borde de una región de malla dispersa y

e4) si este es el caso, ampliación de la región de malla dispersa en al menos una unidad de malla dispersa adyacente al borde en cuestión de la malla dispersa.

15

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado porque

los datos proporcionados en la etapa a) se determinan mediante medición o mediante estimación.

20 10. Producto de programa informático con un programa informático para el seguimiento de la trayectoria de un objeto en movimiento, en el que se implementa el procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

11. Soporte de datos, en el que está almacenado el producto de programa informático según la reivindicación 10.

25

12. Dispositivo para la localización y seguimiento de objetos en movimiento, en particular de misiles, en donde el dispositivo o un elemento del dispositivo usa un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9.

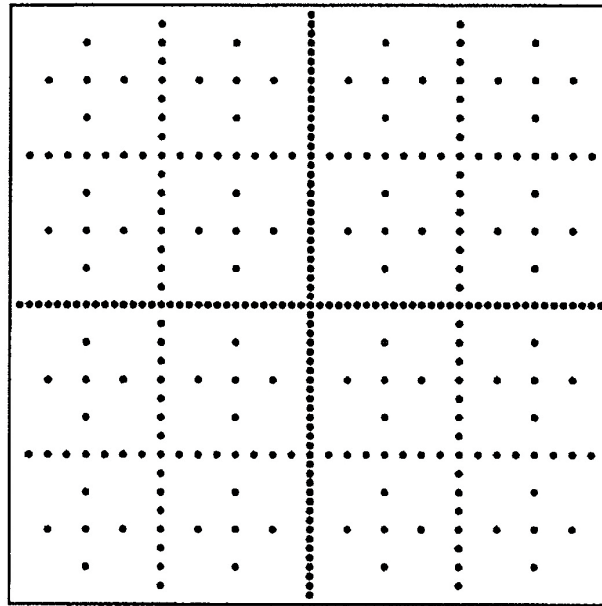


Fig. 1

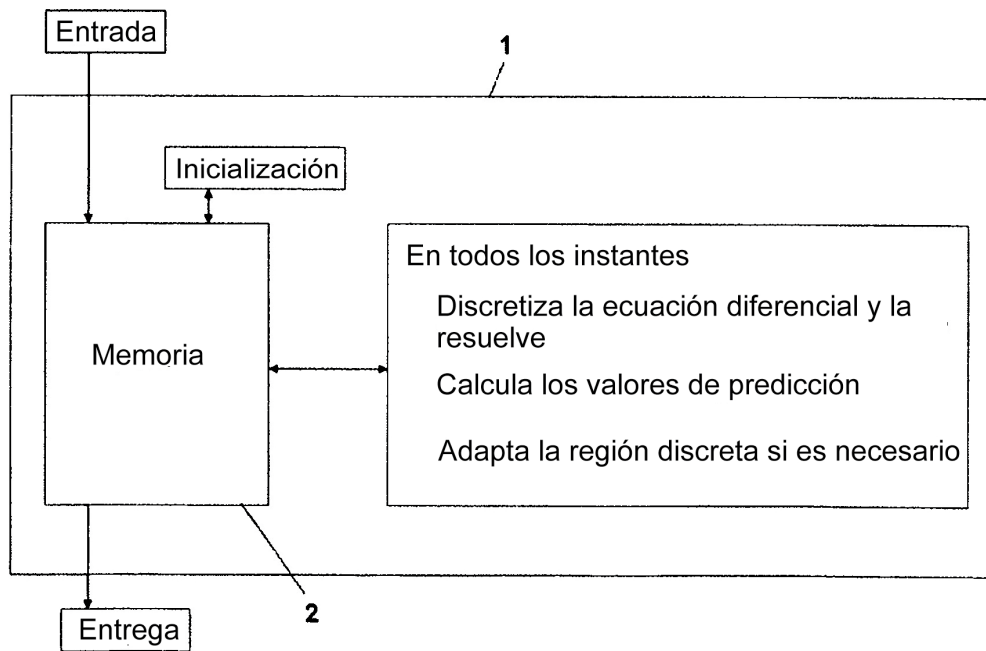


Fig. 2

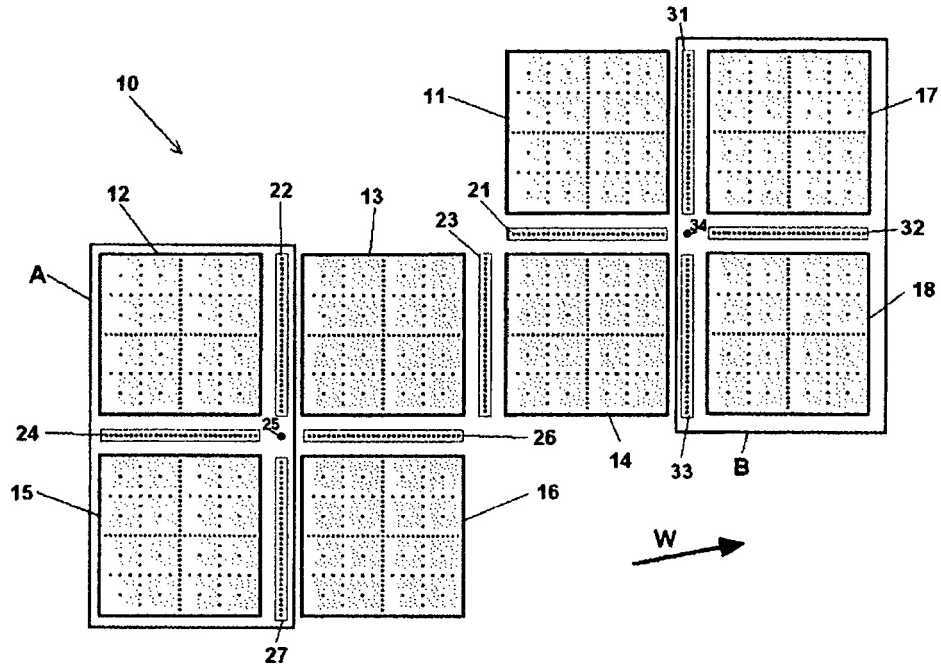


Fig. 3

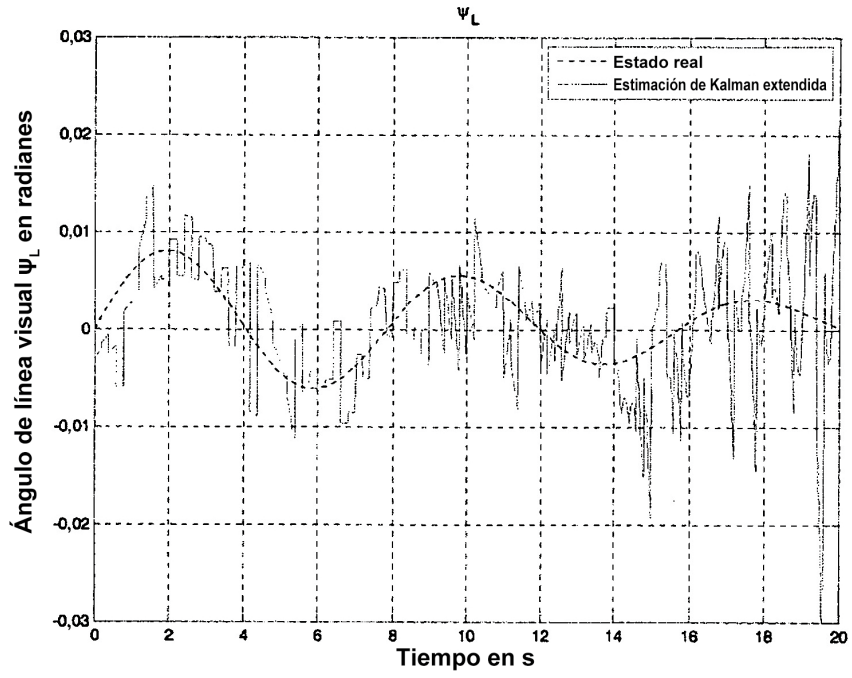


Fig. 4A

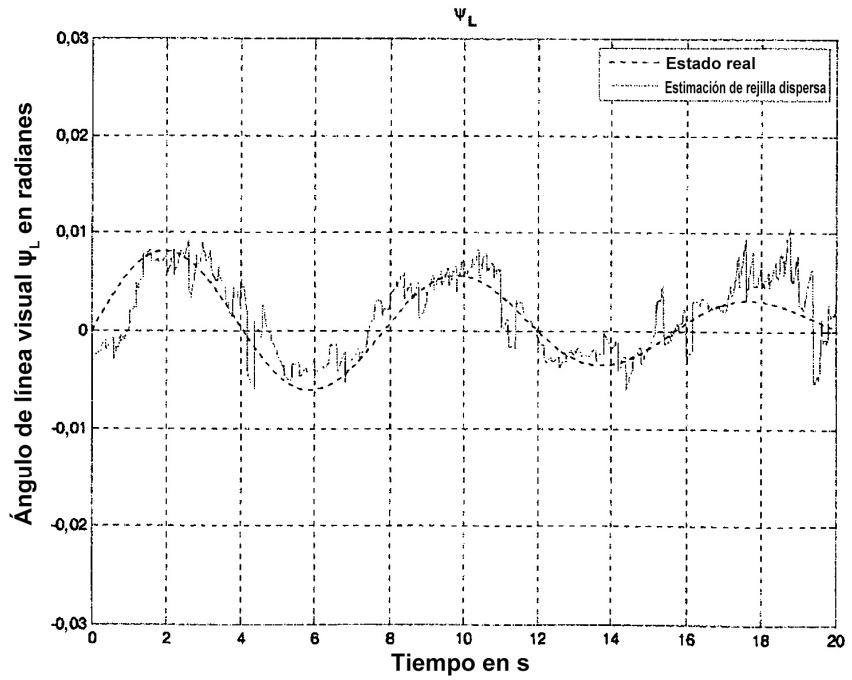


Fig. 4B