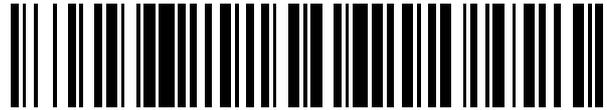


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 449 466**

51 Int. Cl.:

G05D 1/00 (2006.01)

G06K 9/00 (2006.01)

G01S 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.02.2010** **E 10706564 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2013** **EP 2394206**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la localización de objetos**

30 Prioridad:

05.02.2009 DE 102009007684

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

19.03.2014

73 Titular/es:

EADS DEUTSCHLAND GMBH (100.0%)
Willy-Messerschmitt-Strasse
85521 Ottobrunn, DE

72 Inventor/es:

KOTZOR, DANIEL y
UTSCHICK, WOLFGANG

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 449 466 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 la localización de objetos

El invento se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para la localización de objetos en un terreno desconocido. Además el invento se refiere a varios empleos de un procedimiento semejante así como de un dispositivo semejante.

5 "Simultaneous Localization And Mapping" (en lo que sigue abreviado SLAM) designa uno de los problemas fundamentales en la navegación autónoma. La tarea consiste en localizarse en un entorno desconocido y simultáneamente construir un mapa de este entorno. Tan solo por los procesos de los últimos años es en general posible navegar autónomamente en tiempo real en terreno desconocido.

10 Se han dado a conocer a la opinión pública las tecnologías correspondientes, en particular por los "Grand Challenges" de la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) de los Estados Unidos de América. La DARPA ha organizado en los años 2004, 2005 y 2007 carreras de vehículos no tripulados, que debían poder orientarse por sí mismos. Los correspondientes eventos, en los cuales han tomado parte renombrados institutos y científicos, fueron dados a conocer por los medios como radio, televisión e Internet. Un particular desafío representan en ello la localización autónoma de los correspondientes vehículos y la construcción de un mapa del entorno.

15 Para la comprensión del invento se hace en particular remisión a las siguientes citas de la literatura del estado de la técnica:

[1] B. Schölkopf and A. Smola *Learning with Kernels* MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London 2002

20 [2] C. Taylor, A. Rahimi, J. Bachrach, H. Shrobe and A. Grue *Simultaneous Localization, Calibration, and Tracking in an ad Hoc Sensor Network*, Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139

[3] E. Olson, J. Leonard and S. Teller *Robust Range-Only Beacon Localization*, Proceedings of Autonomous Underwater Vehicles, 2004

[4] P. Newman, and J. Leonard *Pure Range-Only Sub-Sea SLAM*, Massachusetts Institute of Technology

25 [5] G. Hollinger, J. Djughash and S. Singh *Tracking a moving target in cluttered environments with ranging radios*, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation

[6] J.-L. Blanco, J. González and J.-A. Fernández-Madrigal *A pure probabilistic approach to range-only SLAM*, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation

[7] X. Nguyen, M. I. Jordan and B. Sinopoli *A Kernel-based learning approach to ad hoc sensor network localisation*, University of California, Berkeley

30 [8] Dan Li et al. *Detection, classification, and tracking of targets*, IEEE Signal Processing Magazine, März 2002

35 En los procedimientos de localización conocidos hasta ahora es problemático que las posiciones de jalones o marcas de posición, con relación a las cuales se efectúa una localización, deben ser conocidas o por lo menos debe ser conocida su posición una con respecto a otra. Por ejemplo en los procedimientos SLAM empleados hasta ahora se medirían la distancia y la dirección a puntos destacados en el entorno desconocido (por ejemplo una torre de iglesia, un mástil de bandera, un pico o un árbol). A partir de la información de la distancia y de la dirección se puede determinar con relativa facilidad la propia posición. Esto necesita sin embargo técnicas de medición relativamente complicadas. Por ejemplo debe trabajarse a la vista. En la oscuridad o en edificios una localización semejante es apenas posible.

40 Para la realización de la mayor parte de los procedimientos de localización conocidos es necesaria una complicada medición o predeterminación exacta de marcas de posición, lo que en muchos casos no es posible realizar o sólo lo es con técnica de medición relativamente complicada.

Existe por eso el deseo de poner a disposición un procedimiento para la localización de objetos, con el cual un objeto que se mueve pueda ser localizado por sí mismo sólo a base de mediciones de distancia a posiciones a fijar, pero en sí desconocidas.

45 En caso de que no exista ninguna información de distancias entre las marcas de posición, es decir, no tenga lugar ninguna comunicación entre las marcas de posición, hay sólo muy pocos procedimientos que solucionen el problema de la localización puramente basada en la distancia.

Son de citar aquí los trabajos de investigación de:

C. Taylor, A. Rahimi, J. Bachrach, H. Shrobe and A. Grue [2] :

En su trabajo presentan un procedimiento para la localización a base de medidas de distancia. Sin embargo hay en este procedimiento conocidos importantes inconvenientes:

- 5 1) Requiere mediciones de distancia sincronizadas/simultáneas de al menos cuatro marcas de posición simultáneamente por paso de valoración. El algoritmo propuesto puede ser empleado sólo para determinadas constelaciones; es necesaria una complicada sincronización de las mediciones de distancia y una complicada técnica de medición.
- 2) El resultado es devuelto en forma de posiciones discretas. Sensores adicionales, que suministren datos adicionales respecto a instantes no sincrónicos, no pueden ser incluidos sin reticulación en el procedimiento conocido.

J. Leonard, S. Teller, E. Olson and P. Newman [3], [4]

10 Los autores describen en su trabajo un procedimiento para la localización de un submarino con datos de distancia a boyas como marcas de posición. También este procedimiento presenta los inconvenientes arriba y 1) y 2) citados. Sin embargo en su trabajo se menciona el problema de sincronización y como solución se reclama un modelo de movimiento discreto sencillo, que implícitamente supone que los datos del sensor se presentan con intervalo de tiempo constante. Tampoco este método es apropiado para el problema de localización determinado que aquí interesa.

G. Hollinger, J. Djughash and S. Singh [5]

15 En esta publicación los autores describen un procedimiento para la localización de un objeto que se mueve con ayuda de emisores de radio, cuya posición puede ser conocida o no. Si las posiciones de los emisores de radio son desconocidas, el procedimiento se desarrolla en dos pasos. En un primer paso se calcula la curva de movimiento del objeto que se mueve. A continuación se emplea la curva de movimiento para calcular la posición de los emisores de radio fijos.

20 El problema del invento es poner a disposición un procedimiento y un dispositivo por medio de los cuales con pequeñas exigencias en la técnica de medición pueda ser localizado un objeto que se mueve en un entorno desconocido.

Este problema es solucionado por un procedimiento con los pasos de la reivindicación principal, así como por un dispositivo con las características de la reivindicación secundaria.

Configuraciones ventajosas del invento son objeto de las reivindicaciones subordinadas.

25 El invento proporciona un procedimiento para la localización de un objeto que se mueve en un entorno desconocido, con:

Previsión de k marcas de posición en posiciones indeterminadas distanciadas unas de otras p_1, p_2, \dots, p_k con $\{p_1, \dots, p_k\} \in \mathbb{R}^3$, siendo k un número natural mayor o igual que 3,

medición repetida de la distancia entre objeto y marca de posición para cada una de las marcas de posición independientemente unas de otras para instantes incontrolados, de manera que para los instantes $\{t_1, \dots, t_n\} \in \mathbb{R}$

30 existen los valores de distancia $\{r_1, \dots, r_n\} \in \mathbb{R}$,

y cálculo de una curva de movimiento $x(t) \in \mathbb{R}^3$ mediante

$$x(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i k(t, t_i),$$

siendo n el número de mediciones de distancia empleadas y cada función $k(t, t_i)$ una función principal definida positivamente y siendo $\{\alpha_1, \dots, \alpha_n\} \in \mathbb{R}^3$ vectores de coeficiente, que son valorados por condiciones de planitud por medio de un término de regularización formado con las funciones principales.

35 Además se propone según el invento un dispositivo para la realización del procedimiento y/o para la localización de un objeto que se mueve en un entorno desconocido, con:

Una instalación de medición, que está configurada para la medición repetida de la distancia entre el objeto y al menos tres marcas de posición dispuestas fijas en posiciones indeterminadas para cada una de las marcas de posición independientemente unas de otras en una serie de instantes y es apta para la emisión de valores de distancia

40 $\{r_1, \dots, r_n\} \in \mathbb{R}$ calculados para los instantes $\{t_1, \dots, t_n\} \in \mathbb{R}$ y

una instalación de evaluación para calcular una curva de movimiento $x(t) \in \mathbb{R}^3$ mediante

$$x(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i k(t, t_i),$$

siendo n el número de mediciones de distancia empleadas y cada función $k(t, t_i)$ una función principal definida positivamente y siendo $\{\alpha_1, \dots, \alpha_n\} \in \mathbb{R}^3$ vectores de coeficiente, y estando la instalación de evaluación adaptada para valorar los vectores de coeficiente por condiciones de planitud por medio de un término de regularización formado con las funciones principales.

El presente invento ofrece el desarrollo actual en el campo de la navegación autónoma (SLAM) así como los conocimientos actuales en el campo de los procedimientos mecánicos de aprendizaje. En particular con el invento puede solucionarse el problema de la autocalización sobre la base de datos de distancia no sincronizados y afectados de defectos con respecto a objetos inmóviles de posición desconocida.

10 Todos los procedimientos conocidos por [2], [3], [4] se basan en valorar una cantidad de posiciones discretas para los instantes de registro de los valores de medición. Este problema para mediciones de distancia no sincronizadas visto matemáticamente es indeterminado y por eso no solucionable.

A diferencia de ello en el procedimiento presentado se eliminan ambigüedades por condiciones de planitud para la curva de trayectoria (regularización). Para realizar esto se busca la solución en un espacio de funciones, dicho más exactamente en un denominado RKHS ("reproducing kernel hilbert space" [1]). En vez de las posiciones deseadas se valora para distintos instantes para el objeto a localizar un conjunto de coeficientes, con los cuales se puede representar efectivamente el espacio de todas las curvas de trayectoria. Las denominadas funciones principales representan la base de este RKHS. Mediante regularización y con ello introducción de "condiciones de planitud" el sistema de ecuaciones en sí indeterminado es entonces solucionado inequívocamente.

20 Según el invento se valoran las posiciones de las marcas de posición así como los coeficientes para la determinación de la curva de trayectoria $x(t)$ por minimización de un funcional de riesgo regularizado. El funcional de riesgo se compone por ejemplo de una función de costes que tiene en cuenta la distribución de errores (por ejemplo distribución de errores cuadrática), y de un término de regularización o de penalización, que tiene en cuenta las desviaciones de la función modelo elegida como función principal del comportamiento real del sistema dinámico del objeto que se mueve. Mediante minimización de un funcional de riesgo regularizado semejante pueden obtenerse los valores que llevan al mínimo como solución para el lugar de las marcas de posición y para los coeficientes para la determinación de la curva de trayectoria. Métodos matemáticos y algoritmos adecuados se emplean ya en la informática en el campo de la enseñanza programada de máquinas para otros fines, por ejemplo el procesado de imágenes, y por ello por principio son ya conocidos.

30 Con el procedimiento según el invento, el dispositivo según el invento o sus perfeccionamientos ventajosos pueden conseguirse las siguientes ventajas:

- 1) La ventaja principal del procedimiento consiste sin duda en que por primera vez es en realidad posible, sin pérdida de información, y con ello con alta calidad, encontrar una solución al problema de la autocalización sólo en base a datos de distancia puros no sincronizados (solamente es conocida la distancia, ninguna dirección).
- 2) El procedimiento tiene muy pocos parámetros, que deben ser optimizados.
- 3) El resultado para la curva de trayectoria se da de una forma analítica. Con ello el resultado puede ser evaluado para cada instante, y por lo tanto no son necesarios puntos de sincronización para una fusión de datos de sensor con otros datos. Además de esto esta forma de representación permite también información diferenciada, por ejemplo datos de aceleración de una IMU (inertial measurement unit).
- 4) El procedimiento presenta una alta flexibilidad en lo referente a la modelación de problemas de localización diferentes

A continuación el invento es explicado en detalle con ayuda de los dibujos adjuntos. En ellos muestran:

La Figura 1 una representación esquemática de una curva de movimiento de un objeto en un entorno desconocido;

la Figura 2 una representación esquemática de los datos de entrada y salida de un procedimiento para la

45 localización del objeto y de las marcas de posición empleadas para la localización;

la Figura 3 una representación esquemática de un primer objeto que se mueve en un entorno desconocido con alta

- dinámica en el ejemplo de un ratón que se mueve en un espacio desconocido con cuatro marcas de posición fijas;
- la Figura 4 una representación esquemática de un segundo objeto que se mueve en el mismo espacio con menor dinámica en el ejemplo de un gato que persigue al ratón;
- 5 la Figura 5 un gráfico esquemático, que muestra el desarrollo en el tiempo de la distancia real del gato a la primera marca de posición y valores de distancia que adolecen de errores medidos para tiempos diferentes;
- la Figura 6 un gráfico esquemático, que muestra el desarrollo en el tiempo de la distancia real del gato a la segunda marca de posición y valores de distancia que adolecen de errores medidos para tiempos diferentes;
- la Figura 7 un gráfico esquemático, que muestra el desarrollo en el tiempo de la distancia real del gato a la tercera
- 10 marca de posición y valores de distancia que adolecen de errores medidos para tiempos diferentes;
- la Figura 8 un gráfico esquemático, que muestra el desarrollo en el tiempo de la distancia real del gato a la cuarta marca de posición y valores de distancia que adolecen de errores medidos para tiempos diferentes;
- la Figura 9 un gráfico esquemático, que muestra el desarrollo en el tiempo de la distancia real del ratón a la primera marca de posición y valores de distancia que adolecen de errores medidos para tiempos diferentes;
- 15 la Figura 10 un gráfico esquemático, que muestra el desarrollo en el tiempo de la distancia real del ratón a la segunda marca de posición y valores de distancia que adolecen de errores medidos para tiempos diferentes;
- la Figura 11 un gráfico esquemático, que muestra el desarrollo en el tiempo de la distancia real del ratón a la tercera marca de posición y valores de distancia que adolecen de errores medidos para tiempos diferentes;
- la Figura 12 un gráfico esquemático, que muestra el desarrollo en el tiempo de la distancia real del ratón a la cuarta
- 20 marca de posición y valores de distancia que adolecen de errores medidos para tiempos diferentes;
- la Figura 13 gráficos de funciones principales empleadas para un procedimiento de localización para la localización del gato y para la localización del ratón;
- la Figura 14 una representación gráfica para la comparación de la trayectoria real del gato y de las posiciones reales de las marcas de posición con una trayectoria para el gato obtenida por medio del procedimiento de
- 25 localización y con las posiciones de las marcas de posición obtenidas por medio del procedimiento de localización;
- la Figura 15 una representación gráfica para comparación de la trayectoria real del ratón y de las posiciones reales de las marcas de posición con una trayectoria para el ratón obtenida por medio del procedimiento de localización y con las posiciones de las marcas de posición obtenidas por medio del procedimiento de
- 30 localización;
- la Figura 16 una representación de bloques esquemática de un posible perfeccionamiento, que sigue a continuación, de un procedimiento de localización que se basa en el procedimiento de localización aquí presentado; y
- la Figura 17 una representación esquemática de distintas fases del perfeccionamiento según la Figura 16.
- En la Figura 1 está representado por medio de una curva de movimiento 11 el movimiento de un objeto 10 en un entorno
- 35 desconocido. La curva de movimiento representa una función del lugar tridimensional, es decir, $x(t) \in \mathcal{R}^3$.

La representación puede efectuarse por ejemplo en coordenadas cartesianas con los ejes de coordenadas x, y, z, por lo tanto aproximadamente en la forma $x(t) = (x^x(t), x^y(t), x^z(t))$.

Para localizar el objeto 10, se prevén al menos tres marcas de posición 12, 14, 16 en lugares indeterminados

$p_1 = (p_1^x, p_1^y, p_1^z)$, $p_2 = (p_2^x, p_2^y, p_2^z)$, $p_3 = (p_3^x, p_3^y, p_3^z)$. Con una instalación de medición

5 no representada en detalle se miden para instantes indeterminados t_i la distancia absoluta r del objeto 10 a cada una de las marcas de posición 12, 14, 16.

Como posible caso de aplicación sería mencionada la localización de fuerzas de rescate en un edificio desconocido (no representado).

10 En primer lugar se colocan/tiran jalones alrededor de o en el correspondiente edificio en posiciones desconocidas cualesquiera. Estos jalones representan las marcas de posición 12, 14, 16. Por ejemplo las fuerzas de rescate colocan en varios puntos en el edificio pequeños emisores o emisores-receptores (no representados). Otra posibilidad es que los correspondientes emisores puedan ser arrojados desde el aire por fuerzas de socorro en puntos cualesquiera alrededor del edificio. En ello están previstas preferentemente más de tres marcas de posición, por ejemplo al menos cuatro, o incluso diez o veinte marcas de posición. El número de marcas de posición activas también puede variar durante el

15 proceso.

Las fuerzas de rescate, que en cada caso están equipadas con un emisor/receptor (no representado), con el cual pueden ser medidas distancias a los emisores o emisores-receptores individuales en las marcas de posición 12, 14, 16, entran entonces en el edificio y tras una breve fase de inicialización (eventualmente después de un minuto) pueden ser localizadas con relación a la red de nudos formada por las marcas de posición 12, 14, 16. Simultáneamente se valora la

20 topología de la red de nudos.

Esto se realiza en una electrónica de evaluación (no representada), que por ejemplo existe en forma de un equipo móvil de proceso de datos que es llevado consigo por las fuerzas de rescate y está conectado con el emisor/receptor de las fuerzas de rescate para obtener los datos de distancia.

25 En la electrónica de evaluación se realiza automáticamente un procedimiento para la localización del objeto 10, como está representado como bloque en la Figura 2.

Como datos de entrada por lo tanto están disponibles para el procedimiento sólo datos de distancia no sincronizados. El resultado del procedimiento es una curva de trayectoria $x(t)$ para el objeto a localizar así como los datos de posición $p^k = \{p_1, \dots, p_k\}$ de las marcas de posición empleadas para las cuales se midieron los datos de distancia.

Para el posicionado relativo no es necesario por eso

- 30
- ningún conocimiento previo sobre el movimiento,
 - ningún conocimiento previo sobre las posiciones de las marcas de posición,
 - ningún otro sistema de sensores
 - y tampoco ninguna sincronización o comunicación en el tiempo de las marcas de posición.

35 En este procedimiento se eliminan ambigüedades por condiciones de planitud para la curva de trayectoria $x(t)$, es decir, en particular por regularización. Para realizar esto se busca la solución en un espacio de funciones, dicho más exactamente en un denominado RKHS ("reproducing kernel hilbert space", véase para esto más exactamente también la cita de la literatura [1], a la cual para más detalles se hace remisión expresamente y es incorporada por referencia.

40 Se valora en vez de las posiciones deseadas para distintos instantes para el objeto a localizar un conjunto de coeficientes, con los cuales se puede representar efectivamente el espacio de todas las curvas de trayectoria. Las denominadas funciones principales representan la base de este RKHS. Mediante regularización y con ello introducción de "condiciones de planitud" el sistema de ecuaciones en sí indeterminado es entonces solucionado inequívocamente. Los componentes esenciales del procedimiento deben ser descritos más exactamente en lo que sigue.

45 El punto de partida es el siguiente: hay al menos tres marcas de posición 12, 14, 16, preferentemente más marcas de posición, en general k marcas de posición con $k \geq 3$, y preferentemente con $k > 3$. Las marcas de posición pueden existir en forma de emisores o similares, por medio de los cuales mediante métodos conocidos puede medirse la distancia al objeto 10 a localizar. Como ejemplo de un objeto a localizar se citaría un bombero, que se mueve a través del edificio desconocido arriba mencionado. Alrededor del edificio están dispuestas las al menos tres marcas de posición 12, 14, 16 como se muestra en la Figura 1.

Este sistema es en primer lugar muy indeterminado. Como se ha mostrado el bombero en su equipo que lleva consigo (por ejemplo emisor-receptor) puede recibir posiblemente para el instante t_1 sólo una distancia r_1 desde la primera marca de medición o marca de posición 12 (p_1). Para un instante t_2 , donde él todavía se ha retirado algo más lejos, él recibe una distancia r_2 desde la segunda marca de medición o marca de posición 14 (p_2). Para un tercer instante t_3 , él recibe una distancia r_3 desde la tercera marca de medición o marca de posición 16 (p_3). La recepción no debe ser variable o regular. Quizá algunas señales no son recibidas con la calidad suficiente. Así el bombero para un cuarto instante t_4 , puede por ejemplo recibir de nuevo una distancia r_4 desde la segunda marca de medición o marca de posición 14 (p_2); y para un quinto instante t_5 , él recibe una distancia r_5 desde la primera marca de medición o marca de posición 12 (p_1), etc. En todos estos cinco instantes el bombero sin embargo se ha movido más. Hay en consecuencia tres incógnitas por medición para el instante t_i , precisamente en cada caso las coordenadas de la posición $x^x(t_i), x^y(t_i), x^z(t_i)$, para ello sin embargo sólo un nuevo valor de medición, precisamente la distancia r_i a la respectiva marca de posición p_{ai} , en lo cual a_i representa el índice para la marca de posición correspondiente a la medición de distancia r_i , para la cual ha sido medida la distancia r_i . En la medición arriba mencionada para el instante t_4 , sería a_i en consecuencia 2, fue medida la distancia a la marca de posición p_2 .

Hasta ahora este sistema no era matemáticamente solucionable, porque hay tres incógnitas pero sólo un valor de medición. Por eso el sistema es matemáticamente indeterminado.

La solución de este problema se deriva de una valoración. Se parte de que el objeto no puede moverse a voluntad y que el sistema dinámico representado por el objeto 10 que se mueve tiene propiedades determinadas. En cada sistema dinámico se hace evidente un comportamiento determinado. Como ejemplo para ello se citan un superpetrolero, el bombero o una mosca, que se mueve en el espacio.

El superpetrolero se mueve con una velocidad constante lenta y apenas puede variar esta dirección de movimiento dentro de un tiempo determinado. En eso el movimiento de un superpetrolero es muy fácilmente previsible. La mosca hace en el límite de pocos segundos varios cambios de dirección, de manera que el sistema dinámico de una mosca es muy inseguro e indeterminado. Un bombero se moverá entre estos dos extremos.

El cálculo de la solución consiste aquí ahora en encontrar para el respectivo sistema dinámico una función apropiada, con la cual la respectiva posición del objeto pueda ser calculada adecuadamente.

La solución puede ser mejorada por la elección de la función. Una elección ideal de la función sería la denominada respuesta de impulso del sistema dinámico. Tales respuestas de impulso son conocidas por la electrotecnia. Se da un impulso energético sobre el sistema y se comprueba luego la respuesta de este sistema. Trasladado a sistemas mecánicos se podría citar una bola de billar. Si se da a esta bola de billar un golpe, ella se mueve en una dirección determinada. La respuesta de impulso de una bola de billar sería en consecuencia un movimiento lineal rectilíneo, en lo cual sin embargo existiría un determinado comportamiento de amortiguación. Si se conociera la respuesta de impulso del sistema dinámico, sería ésta la solución ideal. Para muchos sistemas dinámicos se puede elaborar como función una respuesta de impulso semejante en base a cálculos de simulación.

Esto funciona también sin embargo con determinadas otras funciones. Por ejemplo puede tomarse una curva de Gauss como cálculo apropiado para un sistema dinámico relativamente indeterminado.

La curva sin embargo debería estar adaptada al respectivo sistema dinámico. En el ejemplo de la curva de Gauss esto quiere decir que la curva de Gauss en el caso del superpetrolero puede ser relativamente ancha. En el ejemplo de la mosca la curva de Gauss debería ser muy estrecha. La razón de base es que en el caso del superpetrolero se puede partir de que éste tras un segundo o incluso aún tras un minuto todavía se mueve en la misma dirección. En consecuencia la probabilidad del movimiento está relativamente bien determinada, de manera que también se puede tomar una curva de Gauss ancha. En el caso de la mosca el futuro es mucho más indeterminado, de manera que también sólo pueden encontrarse pocas conclusiones sobre el futuro. Por eso sobre el eje de tiempo la curva de Gauss debe elegirse considerablemente más estrecha.

Para la representación sencilla adoptamos la siguiente suposición. Tenemos tres mediciones para los instantes t_1, t_2, t_3 . La posición $x^x(t)$ del objeto 10 sobre el eje x puede ser representada mediante la ecuación (1):

$$(1) \quad x^x(t) = \alpha_1^x k_1(t) + \alpha_2^x k_2(t) + \alpha_3^x k_3(t)$$

$\alpha_1^x, \alpha_2^x, \alpha_3^x$ representan coeficientes desconocidos. $k_1(t), k_2(t), k_3(t)$ representan las funciones elegidas tomadas. Las posiciones x^x para el instante resultan entonces por esta ecuación. Los coeficientes

$$\alpha_1^x, \alpha_2^x, \alpha_3^x$$

son a determinar. Como cálculo se eligen aquí como funciones por ejemplo las funciones de Gauss. En lugar de estas funciones de Gauss podrían elegirse también otras funciones, como ya se ha explicado arriba.

Es común para todas las funciones válidas que todas sean funciones principales definidas positivamente.

- 5 Esto significa que la matriz de Gram debe estar definida positivamente a partir de las funciones principales. $k_1(t)$ representa la función definida para el instante t_1 . $k(t_1, t_x) = k_1(t_x)$ representa el valor que la función definida para el punto t_1 suministra para el valor t_x .

Si ahora a partir de esta función se construye la matriz de Gram K

$$(2) \quad K = \begin{bmatrix} k(t_1, t_1) & \dots & k(t_1, t_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k(t_n, t_1) & \dots & k(t_n, t_n) \end{bmatrix}$$

entonces ésta está definida positivamente.

- 10 Definida positivamente significa que el producto vectorial representado en la siguiente expresión (3) es positivo:

$$(3) \quad \begin{pmatrix} \alpha_1^x & \alpha_2^x & \alpha_3^x \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} k(t_1, t_1) & k(t_1, t_2) & k(t_1, t_3) \\ k(t_2, t_1) & k(t_2, t_2) & k(t_2, t_3) \\ k(t_3, t_1) & k(t_3, t_2) & k(t_3, t_3) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1^x \\ \alpha_2^x \\ \alpha_3^x \end{pmatrix} > 0$$

En el procedimiento aquí representado se aplica un producto vectorial semejante como término de regularización.

- 15 La toma de las funciones se emplea por lo tanto para la regularización. Se puede llamar también este término (3) "término de penalización". Si se han elegido funciones que no corresponden al sistema dinámico, los coeficientes $\alpha_1^x, \alpha_2^x, \alpha_3^x$ etc. varían correspondientemente. Estos deben entonces ser correspondientemente mayores, para adaptar de nuevo esta función. Mediante la aplicación de los coeficientes en la matriz de Gram resulta el término de regularización apropiado. Este término de regularización describe cómo de apropiadamente la función correspondiente $k(t, t)$ describe la dinámica.

- 20 Los coeficientes $\alpha_1^x, \alpha_2^x, \alpha_3^x$ se obtienen por optimización, es decir, en particular por minimización del término (3). Más exactamente es optimizada una función de riesgo formada de este modo, como a continuación será explicada aún en detalle.

De este modo se puede introducir otra magnitud de determinación en el sistema, para entonces resolver inequívocamente el problema arriba mencionado.

- 25 En el marco de la siguiente representación más exacta de la metódica se emplean las siguientes designaciones:

$\{t_1, \dots, t_n\} \in \mathcal{R}$	Instantes para los cuales existen mediciones (de distancias)
$x(t) \in \mathcal{R}^3$	Posición del objeto a localizar para el instante t
$\{p_1, \dots, p_k\} \in \mathcal{R}^3$	Posiciones de las marcas de posición que están disponibles para las mediciones
$\{r_1, \dots, r_n\} \in \mathcal{R}$	Mediciones de distancia
$\{a_1, \dots, a_n\} \in \mathcal{N}$	Indización de las marcas de posición por medición. Ejemplo: la medición i -ésima r_i mide la distancia del objeto con la posición $x(t_i)$ para la

	marca de posición con la designación a_i
--	--

La curva de trayectoria buscada $x(t)$ es parametrizada como sigue:

$$(4) \quad x(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i k(t, t_i)$$

Las funciones $k(t, t_i)$ forman la base del RKHS. La curva de trayectoria $x(t)$ es descrita completamente por los vectores de coeficiente $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ a partir del \mathbb{R}^3 . Se utilizan en consecuencia justamente cuatro funciones, como mediciones se tiene. Para la medición para el instante t_1 hay entonces la función $k(t, t_1)$. Para la medición para el instante t_2 hay la función $k(t, t_2)$, etc.

Para el procedimiento aquí representado está previsto que en el caso de las funciones base $k(t, t_i)$ se trate de funciones principales definidas positivamente [1]. Una elección típica para una función principal definida positivamente tiene la forma de una campana de Gauss (5):

$$(5) \quad k(t, t') = \exp\left(-\frac{\|t - t'\|^2}{2\sigma^2}\right)$$

En ello, como es usual para campanas de Gauss, σ representa como desviación estándar una medida para el ancho de la curva de Gauss. Según la dinámica del sistema éste debería elegirse menor (alta dinámica) o más ancho (pequeña dinámica). Con los trazos dobles está indicada aquí la cantidad, incluso dado el caso la cantidad vectorial.

La función principal apropiada para la correspondiente aplicación puede sin embargo por ejemplo también ser determinada offline mediante la respuesta de impulso del sistema dinámico a analizar. Puede demostrarse incluso que esta elección de la función principal puede ser válida como ideal bajo ciertas condiciones previas. La dinámica del sistema modela de esta manera las funciones principales.

En lo que sigue se representa ahora cómo pueden valorarse las posiciones de las marcas de posición así como los vectores de coeficiente.

Al comienzo de una localización del objeto que se mueve en el entorno desconocido no se parte de ningún conocimiento previo. Debe obtenerse en primer lugar una primera solución para la curva de trayectoria así como para las posiciones de las marcas de posición 12, 14, 16 puestas de manifiesto hasta entonces.

Se solicitan para el cálculo todos los datos existentes hasta entonces. Por medio de un proceso de optimización matemático (por ejemplo: método Levenberg-Marquardt,...) se obtiene la solución para los coeficientes de la curva de trayectoria así como de la posición de las marcas de posición por minimización de la siguiente expresión – "funcional de riesgo regularizado" – (6):

$$(6) \quad R_{reg}(\alpha, p) = \underbrace{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\|x_i - p_{a_i}\| - r_i)^2}_{\text{Función de costes}} + \underbrace{\mu(\alpha_x^{nT} K \alpha_x^n + \alpha_y^{nT} K \alpha_y^n + \alpha_z^{nT} K \alpha_z^n)}_{\text{Término de regularización}}$$

La solución para α y para p puede por lo tanto ser representada como sigue:

$$\arg \min_{\alpha, p} R_{reg}(\alpha, p)$$

K es en ello la matriz de Gram

$$K = \begin{bmatrix} k(t_1, t_1) & \dots & k(t_1, t_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k(t_n, t_1) & \dots & k(t_n, t_n) \end{bmatrix}$$

α_x^n, α_y^n y α_z^n los vectores de coeficiente

$$\alpha_x^n = (\alpha_1^x, \dots, \alpha_n^x)^T \quad \alpha_y^n = (\alpha_1^y, \dots, \alpha_n^y)^T \quad \alpha_z^n = (\alpha_1^z, \dots, \alpha_n^z)^T \quad \text{así como}$$

$$p^k = (p_1^x, p_1^y, p_1^z, \dots, p_k^x, p_k^y, p_k^z)^T$$

un vector que contiene las posiciones de las marcas de posición.

- 5 La T elevada significa aquí que el vector está transpuesto. El producto vectorial está realizado por lo tanto una vez con el vector fila y una vez con el vector columna.

El parámetro escalar μ es un parámetro a adaptar o a optimizar en la respectiva aplicación, el cual representa la ponderación entre regularización (*término de regularización*) y minimización de los errores cuadráticos (*función de costes*). El parámetro escalar puede ser calculado empíricamente mediante ensayo y eventualmente también estar configurado

- 10 regulable para adaptación en la instalación de evaluación.

El vector x_i representa el lugar del objeto para el instante t_i . Este valor desconocido se emplea en la ecuación (6) en correspondencia a la ecuación (4) como sigue:

$$(7) \quad x_i = x(t_i) = \sum_{j=1}^n \alpha_j k(t_i, t_j).$$

Escrito completo el riesgo funcional a minimizar se expresa por lo tanto:

$$(8) \quad R_{\text{reg}}(\alpha, p) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\| \sum_{j=1}^n \alpha_j k(t_i, t_j) - p_{\alpha_i} \| - r_i)^2 + \mu (\alpha_x^{nT} K \alpha_x^n + \alpha_y^{nT} K \alpha_y^n + \alpha_z^{nT} K \alpha_z^n)$$

- 15 Como resultado de la minimización se obtiene finalmente una primera valoración para la distribución de probabilidad de las posiciones del objeto a localizar así como de las posiciones de las marcas de posición.

- 20 Una valoración para la matriz de covarianza de los parámetros individuales puede ser obtenida por ejemplo por medio del "Método de Laplace" a partir de la matriz de Hesse del funcional de riesgo regularizado. La matriz de covarianza indica cómo de buena es la valoración realizada por el procedimiento aquí presentado. Puede ser empleada en un desarrollo posterior de una continuación de una localización permanente para la formación de un filtro de Kalman empleado para ello.

Observación: Para la minimización del término (6) arriba mencionado puede ser conveniente en lugar de los coeficientes α_n emplear directamente como base alternativa los vectores propios de la matriz de Gram K .

- 25 En lo que sigue con ayuda de las Figuras 3 a 15 se describe una aplicación concreta del procedimiento de localización descrito ahora mismo en un sencillo ejemplo concreto. El siguiente ejemplo concreto en particular debe también hacer evidente la influencia de la función principal sobre la solución.

- 30 En el ejemplo un gato 20 da caza a un ratón 22 a través de un espacio 30, en el cual se encuentran cuatro dispositivos 24, 25, 26, 27 de posición desconocida, que en instantes no controlables miden sus distancias al ratón 22 y al gato 20. El movimiento del ratón 22 a través del espacio se ilustra en la Figura 3 y el movimiento del gato 20 a través del espacio se ilustra en la Figura 4. El gato 20 y el ratón 22 son ejemplos para objetos que se mueven en un entorno desconocido, aquí el espacio 30, los cuales ahora deben ser localizados. Los cuatro dispositivos 24, 25, 26, 27 representan cuatro nudos de una red de nudos y la primera a la cuarta marca de posición p_1, p_2, p_3, p_4 .

- 35 En las Figuras 3 y 4 el eje x del gráfico representa el eje x espacial en la unidad metros, mientras que el eje y representa el eje y espacial asimismo en la unidad metros. Con 32 está designada la curva de movimiento $x_{\text{Gato}}(t)$ del gato y con 34 está designada la curva de movimiento $x_{\text{Ratón}}(t)$.

Puede verse claramente la mayor capacidad de maniobra del ratón 22. Mientras el ratón 22 puede describir cortos regates para poder escapar del gato 20, el gato 20, debido a su mayor masa, corre esencialmente en línea recta y tras un viraje agudo del ratón debe incluso correr alrededor del segundo dispositivo 25.

- 40 Para el gato se miden para los cuatro dispositivos 24, 25, 26, 27 las distancias indicadas en los gráficos de las Figuras 5 a 8. En ello se aplican respectivamente sobre el eje y las distancias en metros y sobre el eje x el tiempo en segundos. La

curva trazada en línea llena indica la distancia real entre el gato 20 y el correspondiente dispositivo 24, 25, 26, 27, mientras que las cruces señalan los valores de medición individuales afectados de defectos.

5 La Figura 5 muestra las distancias del gato 20 al primer dispositivo 24; la Figura 6 muestra las distancias del gato 20 al segundo dispositivo 25; la Figura 7 muestra las distancias del gato 20 al tercer dispositivo 26; y la Figura 8 muestra las distancias del gato 20 al cuarto dispositivo 24.*

De manera análoga las Figuras 9 a 12 muestran las correspondientes distancias del ratón 22 a los dispositivos 24, 25, 26, 27, mostrando la Figura 9 las distancias al primer dispositivo 24, la Figura 10 las distancias al segundo dispositivo 25, la Figura 11 las distancias al tercer dispositivo 26 y la Figura 12 las distancias al cuarto dispositivo 27.

10 En total visto sobre todos los nudos o marcas de posición el número de distancias medidas alcanza 51 para el movimiento del gato, para el ratón 67.

En ello para las mediciones de distancia se tomó como distribución un modelo de ruido que corresponde a un ruido de distribución normal con una desviación estándar de 0,4 metros.

Para ambos ejemplos se determinaron entonces con el procedimiento presentado las curvas de trayectoria así como las posiciones de los nudos de medición - dispositivos 24, 25, 26, 27, es decir, marcas de posición -.

15 Como función principal se emplearon "campanas de Gauss" distintas para el movimiento del gato 20 y del ratón 22, que están representadas en la Figura 13. En ello la línea de puntos representa la función principal para la localización del ratón 22 y la línea de trazo continuo la función principal para la localización del gato 20.

20 Con la realización del procedimiento arriba explicado inclusive de la optimización del funcional de riesgo regularizado (6) se obtienen los resultados representados en las Figuras 14 y 15 para la trayectoria del gato 20 (Figura 14) y del ratón 22 (Figura 15) así como para las posiciones de los dispositivos 24, 25, 26, 27. Los resultados para la trayectoria están representados en cada caso como líneas de puntos, mientras que la línea de trazo continuo para comparación indica el movimiento real.

Como es evidente por las Figuras 14 y 15, el procedimiento aquí representado a pesar de la muy pequeña información de las mediciones de distancia suministra aproximaciones relativamente exactas para las curvas de movimiento reales.

25 El procedimiento presentado puede por lo tanto aprovecharse verdaderamente bien para la localización de objetos mediante utilización de técnica de medición sólo muy sencilla y por lo tanto económica. Alternativamente el procedimiento también puede ser aplicado con técnica de medición de muy alta calidad, pero bajo condiciones de recepción dificultadas como por ejemplo en edificios o túneles, en minas o similares, o también en el campo militar, por ejemplo en acciones de rescate o acciones de asalto, donde no puede ser garantizada una medición de distancias constante sincronizada
30 necesaria como hasta. Por ejemplo es concebible también un empleo en buques extraños, por ejemplo en caso de acciones de liberación de buques ocupados por piratas. En particular las marcas de posición pueden ser formadas por emisores muy sencillos u otros aparatos sencillos para la medición de distancias, que tras el lanzamiento o utilización pueden ser dejados muy fácilmente en el lugar.

35 Como muestran los ejemplos, el procedimiento es también muy utilizable para una localización con muestra de relativamente pequeña cantidad de valores de medición (por ejemplo menos de 100 o pocos cientos).

Sin embargo si las mediciones prosiguen, resultan con el tiempo cada vez más mediciones, que con el procedimiento hasta ahora descrito hacen una optimización continua siempre más compleja y por lo tanto más complicada, de manera que los cálculos también siempre duran más tiempo.

40 Por tal motivo en una configuración preferida de un método de localización el procedimiento hasta ahora descrito, en el cual se emplean todos los valores de medición y con ello la situación del objeto y todas de las marcas de posición puestas en acción a determinar, se realiza sólo en una fase de inicialización al comienzo. La metódica en conjunto podría parecerse entonces a como se representa en la Figura 16. Según ello esta metódica en conjunto además de la fase de inicialización presenta aún otra fase aquí denominada fase de localización.

45 Sobre la base de las primeras valoraciones obtenidas en la fase de inicialización para α^n y p^k en la fase de localización se valoran continuamente las posiciones de las marcas de posición y los coeficientes de modo similar a un filtro de Kalman. Mediante el diseño de la solución arriba descrito como suma ponderada de funciones principales el número de parámetros crece continuamente.

50 Para cada nueva medición de distancia para el instante t_i se añade un nuevo parámetro (en forma de un vector de coeficiente) α_i . A diferencia con la fase de inicialización durante la fase de localización sólo se valoran aquellos coeficientes que tienen influencia sobre la posición actual. Los coeficientes que corresponden a mediciones que datan de aún más atrás y cuya valoración ya no puede ser mejorada por la medición actual, se emplean como conocimiento previo en forma de parámetros constantes.

Con la hipótesis de que

$$k(t, t) \approx 0$$

para todos

$$|t-t| > T,$$

- 5 indicando T un lapso de tiempo a partir del cual la influencia de mediciones que datan de más atrás es despreciable, resulta con ello que para el instante t_{n+1} para la curva de trayectoria únicamente los coeficientes

$$\underline{\alpha}^{n+1} = (\alpha_{m_1}^x, \alpha_{m_1}^y, \alpha_{m_1}^z, \dots, \alpha_{n+1}^x, \alpha_{n+1}^y, \alpha_{n+1}^z)^T$$

deben ser valorados, en caso de que

$$|t_{n+1} - t_m| > T.$$

- 10 En la representación de la Figura 17 se representan gráficamente para la fase de inicialización y la fase de localización los intervalos de tiempo en los cuales se emplean las mediciones, e instantes de la evaluación.

El vector de parámetro p^k para las valoraciones de las posiciones de las marcas de posición es aumentado dinámicamente en caso de que aparezca una nueva marca de posición. Pueden por lo tanto presentarse también continuamente nuevas marcas de posición; el sistema es adecuadamente flexible.

- 15 Como en el filtro de Kalman se propone que en cada nueva localización se genere un

- **Paso de predicción**, en el cual sobre la base de la solución encontrada hasta entonces para $(\alpha^n, p^k)^T$ o $(\alpha^{n+i-1}, p^k)^T$ se genere una valoración para la nueva solución $(\tilde{\alpha}^{n+i}, \tilde{p}^k)^T$.

y a continuación después de ello se realice un

- 20
- **Paso de corrección**, que mejora la solución predicha por minimización renovada del problema de optimización ya indicado arriba en la ecuación (6) para el correspondiente conjunto de coeficientes en una nueva solución $(\alpha^{n+i}, p^k)^T$.

Lista de signos de referencia:

- 10 Objeto
- 11 Curva de movimiento
- 12 Primera marca de posición
- 5 14 Segunda marca de posición
- 16 Tercera marca de posición
- 20 Gato (primer objeto)
- 22 Ratón (segundo objeto)
- 24 Primer dispositivo (primera marca de posición p_1)
- 10 25 Segundo dispositivo (segunda marca de posición p_2)
- 26 Tercer dispositivo (tercera marca de posición p_3)
- 27 Cuarto dispositivo (cuarta marca de posición p_4)
- 30 Espacio (entorno desconocido)
- 32 Curva de movimiento $x_{Gato}(t)$ del gato
- 15 34 Curva de movimiento $x_{Ratón}(t)$ del ratón

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la localización de un objeto (10, 20, 22) que se mueve en un entorno desconocido, con previsión de k marcas de posición (12, 14, 16; 22, 24, 25, 26, 27) en posiciones indeterminadas distanciadas unas de otras p_1, p_2, \dots, p_k , con $\{p_1, \dots, p_k\} \in \mathbb{R}^3$, siendo k un número natural mayor o igual que 3, medición repetida de la distancia entre objeto (10, 20, 22) y marca de posición (12, 14, 16; 22, 24, 25, 26, 27) para cada una de las marcas de posición (12, 14, 16; 22, 24, 25, 26, 27) independientemente unas de otras para instantes incontrolados, de manera que para los instantes $\{t_1, \dots, t_n\} \in \mathbb{R}$ existen los valores de distancia $\{r_1, \dots, r_n\} \in \mathbb{R}$, y cálculo de una curva de movimiento $x(t) \in \mathbb{R}^3$ mediante

$$x(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i k(t, t_i),$$

- siendo n el número de mediciones de distancia empleadas y siendo cada función $k(t, t_i)$ una función principal definida positivamente y siendo $\{\alpha_1, \dots, \alpha_n\} \in \mathbb{R}^3$ vectores de coeficiente, que son valorados por condiciones de planitud por medio de un término de regularización formado con las funciones principales, efectuándose la valoración de las posiciones $\{p_1, \dots, p_k\} \in \mathbb{R}^3$ de las marcas de posición (12, 14, 16; 22, 24, 25, 26, 27) y de los vectores de coeficiente $\{\alpha_1, \dots, \alpha_n\} \in \mathbb{R}^3$ por minimización de un funcional de riesgo regularizado, que con el empleo de coordenadas cartesianas es representable en la forma

$$R_{reg}(\alpha^n, p^k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\|x_i - p_{a_i}\| - r_i)^2 + \mu(\alpha_x^n{}^T K \alpha_x^n + \alpha_y^n{}^T K \alpha_y^n + \alpha_z^n{}^T K \alpha_z^n)$$

con $x_i = x(t_i) = \sum_{j=1}^n \alpha_j k(t_i, t_j)$

representando K la matriz de Gram

$$K = \begin{bmatrix} k(t_1, t_1) & \dots & k(t_1, t_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k(t_n, t_1) & \dots & k(t_n, t_n) \end{bmatrix};$$

α_x^n, α_y^n y α_z^n las coordenadas x, y , y z de los vectores de coeficiente con

$$\alpha_x^n = (\alpha_1^x, \dots, \alpha_n^x)^T, \quad \alpha_y^n = (\alpha_1^y, \dots, \alpha_n^y)^T, \quad \alpha_z^n = (\alpha_1^z, \dots, \alpha_n^z)^T,$$

y $\alpha^n = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ con

$$\alpha_1 = (\alpha_1^x \quad \alpha_1^y \quad \alpha_1^z), \quad \alpha_2 = (\alpha_2^x \quad \alpha_2^y \quad \alpha_2^z), \quad \dots, \quad \alpha_n = (\alpha_n^x \quad \alpha_n^y \quad \alpha_n^z);$$

- 25 p^k un vector, que contiene las posiciones

$$\{p_1, \dots, p_k\} \in \mathbb{R}^3$$

de las marcas de posición (12, 14, 16; 22, 24, 25, 26, 27) y en particular es representable en una forma

$$p^k = (p_1^x, p_1^y, p_1^z, \dots, p_k^x, p_k^y, p_k^z)^T ; y$$

μ un parámetro escalar a adaptar al respectivo objeto (10, 20, 22), en particular por cálculo empírico, para la ponderación entre el término de regularización $(\alpha_x^{\mu T} K \alpha_x^\mu + \alpha_y^{\mu T} K \alpha_y^\mu + \alpha_z^{\mu T} K \alpha_z^\mu)$ y la función de costes

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\|x_i - p_{a_i}\| - r_i)^2$$

5

2. Procedimiento según la reivindicación 1,

caracterizado por

el empleo de funciones de Gauss como función principal definida positivamente, en particular en la forma

$$k(t, t') = \exp\left(-\frac{\|t - t'\|^2}{2\sigma^2}\right).$$

10 3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado porque

la desviación estándar σ se elige en correspondencia a la dinámica del objeto (10, 20, 22) de manera que en el caso de un objeto (22) con movimiento que varía en cantidad y/o dirección más rápidamente una desviación estándar menor que en el caso de un objeto (20) con movimiento que varía en cantidad y/o dirección más lentamente.

15

4. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por

determinación de una función de respuesta de impulso que indica una respuesta de impulso del sistema dinámico formado por el movimiento del objetos (10, 20, 22) y empleo de la función de respuesta de impulso como función principal $k(t, t')$ para el cálculo de la curva de movimiento.

20

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por

formación del término de regularización a partir de un producto vectorial de los vectores de coeficiente con la matriz de Gram de las funciones principales.

25

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque

la previsión de marcas de posición (12, 14, 16; 22, 24, 25, 26, 27) comprende el empleo de emisores o emisores-receptores estacionarios como marcas de posición y porque la medición comprende el cálculo de la distancia del respectivo emisor o emisor-receptor a un receptor o emisor-receptor que se mueve junto con el objeto (10).

30

7. Dispositivo para la realización del procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes y/o para la localización de un objeto (10, 20, 22) que se mueve en un entorno desconocido con:

una instalación de medición, que está configurada para la medición repetida de la distancia entre el objeto (10, 20, 22) y al menos tres marcas de posición (12, 14, 16; 22, 24, 25, 26, 27) dispuestas fijas en posiciones indeterminadas para cada una de las marcas de posición independientemente unas de otras para una serie de

35

instantes y es apta para la emisión de valores de distancia $\{r_1, \dots, r_n\} \in \mathbb{R}$ calculados para los instantes $\{t_1, \dots, t_n\} \in \mathbb{R}$ y

una instalación de evaluación para calcular una curva de movimiento $x(t) \in \mathbb{R}^3$ mediante

$$x(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i k(t, t_i),$$

siendo n el número de mediciones de distancia empleadas y cada función $k(t, t_i)$ una función principal definida positivamente y siendo $\{\alpha_1, \dots, \alpha_n\} \in \mathbb{R}^3$ vectores de coeficiente, y estando la instalación de evaluación adaptada para valorar los vectores de coeficiente por condiciones de planitud por medio de un término de regularización formado con las funciones principales, efectuándose la valoración de las posiciones

5 $\{p_1, \dots, p_k\} \in \mathbb{R}^3$ de las marcas de posición (12, 14, 16; 22, 24, 25, 26, 27) y de los vectores de coeficiente $\{\alpha_1, \dots, \alpha_n\} \in \mathbb{R}^3$ por minimización de un funcional de riesgo regularizado, que con empleo de coordenadas cartesianas es representable en la forma

$$R_{reg}(\alpha^n, p^k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\|x_i - p_{a_i}\| - r_i)^2 + \mu(\alpha_x^{nT} K \alpha_x^n + \alpha_y^{nT} K \alpha_y^n + \alpha_z^{nT} K \alpha_z^n)$$

con
$$x_i = x(t_i) = \sum_{j=1}^n \alpha_j k(t_i, t_j)$$

10 representando K la matriz de Gram

$$K = \begin{bmatrix} k(t_1, t_1) & \dots & k(t_1, t_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k(t_n, t_1) & \dots & k(t_n, t_n) \end{bmatrix};$$

α_x^n, α_y^n y α_z^n las coordenadas x, y y z de los vectores de coeficiente con

$$\alpha_x^n = (\alpha_1^x, \dots, \alpha_n^x)^T, \quad \alpha_y^n = (\alpha_1^y, \dots, \alpha_n^y)^T, \quad \alpha_z^n = (\alpha_1^z, \dots, \alpha_n^z)^T,$$

y $\alpha^n = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ con

15 $\alpha_1 = (\alpha_1^x \quad \alpha_1^y \quad \alpha_1^z), \alpha_2 = (\alpha_2^x \quad \alpha_2^y \quad \alpha_2^z), \dots, \alpha_n = (\alpha_n^x \quad \alpha_n^y \quad \alpha_n^z);$

p^k un vector, que contiene las posiciones $\{p_1, \dots, p_k\} \in \mathbb{R}^3$ de las marcas de posición (12, 14, 16; 22, 24, 25, 26, 27) y en particular es representable en una forma

$$p^k = (p_1^x, p_1^y, p_1^z, \dots, p_k^x, p_k^y, p_k^z)^T ; y$$

20 μ un parámetro escalar a adaptar al respectivo objeto (10, 20, 22), en particular por cálculo empírico, para la ponderación entre el término de regularización $(\alpha_x^{nT} K \alpha_x^n + \alpha_y^{nT} K \alpha_y^n + \alpha_z^{nT} K \alpha_z^n)$ y la función de costes

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\|x_i - p_{a_i}\| - r_i)^2$$

8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado porque

25 la instalación de medición presenta al menos tres instalaciones de marcado de marcas de posición, en particular emisores o emisores receptores o reflectores o repetidores, para formar o marcar las al menos tres marcas de posición (12, 14, 16; 22, 24, 25, 26, 27) y al menos una instalación de marcado de objetos, en particular receptor o emisor-receptor, estando la instalación de medición adaptada para la determinación individual de las distancias

entre las instalaciones de marcado de marcas de posición y la instalación de marcado de objetos bajo identificación de la instalación de marcado de marcas de posición medida en cada caso.

9. Empleo del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6 y/o del dispositivo según una de las reivindicaciones 7 u 8 para la localización y configuración de mapas en base a datos de distancia.
- 5 10. Empleo del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6 y/o del dispositivo según una de las reivindicaciones 7 u 8 para la orientación en un terreno o edificio desconocido.
11. Empleo según la reivindicación 10, caracterizado porque las marcas de posición son colocadas o lanzadas en lugares diferentes cerca del terreno o el edificio.

10

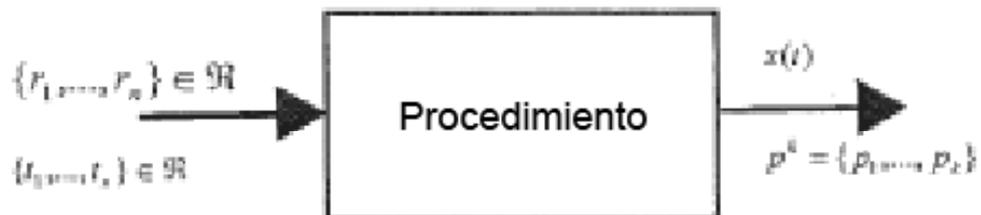
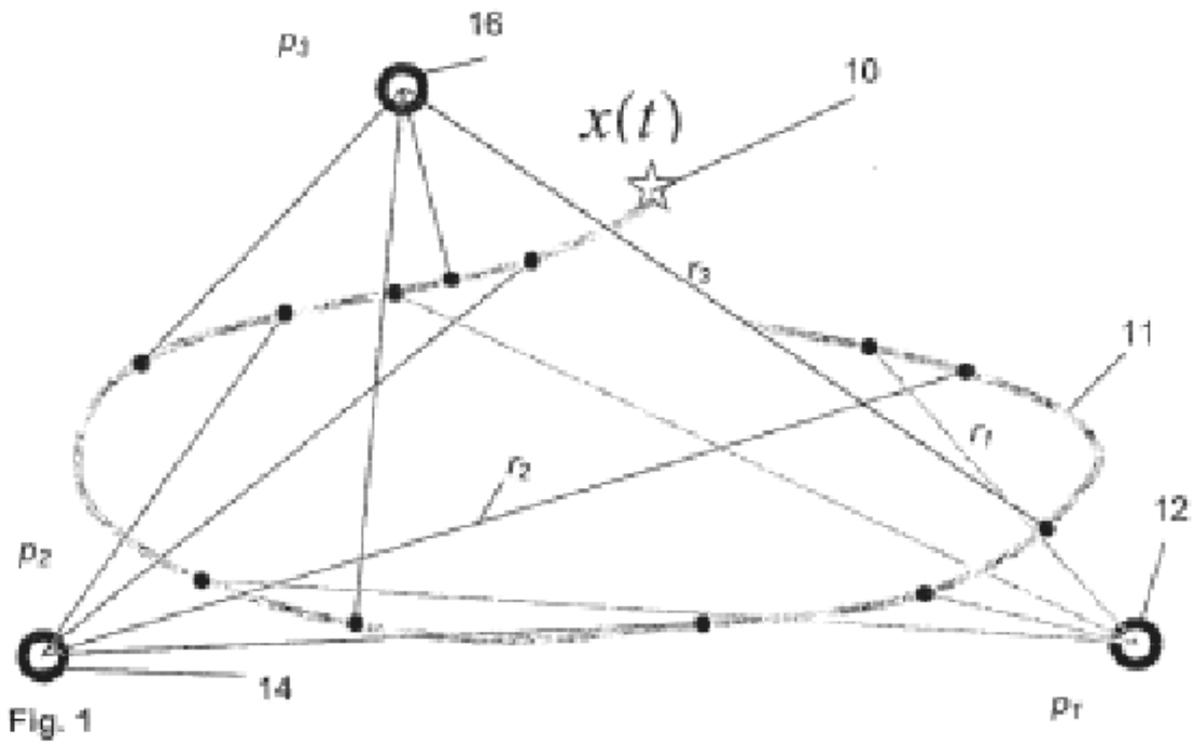


Fig. 3

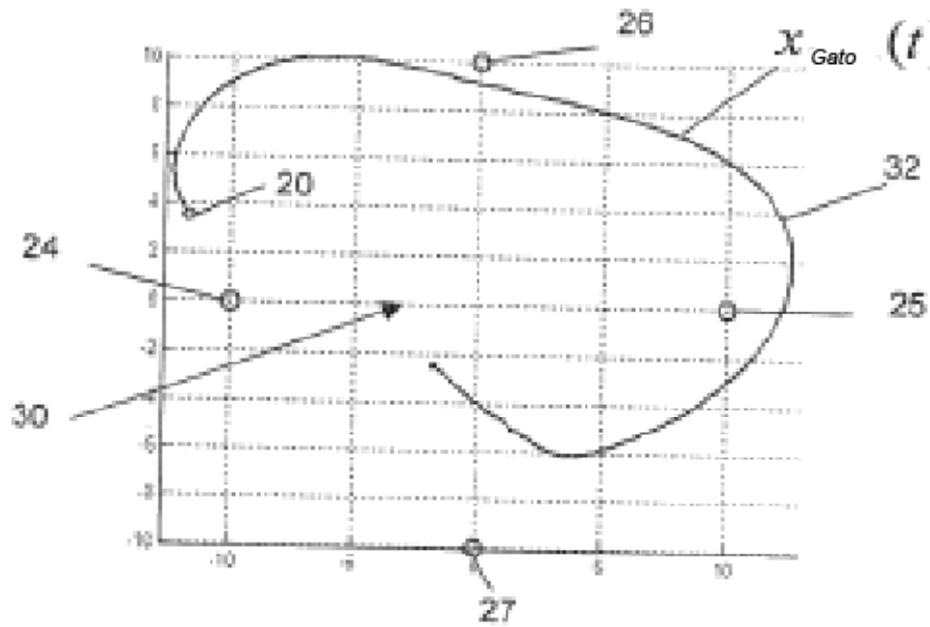
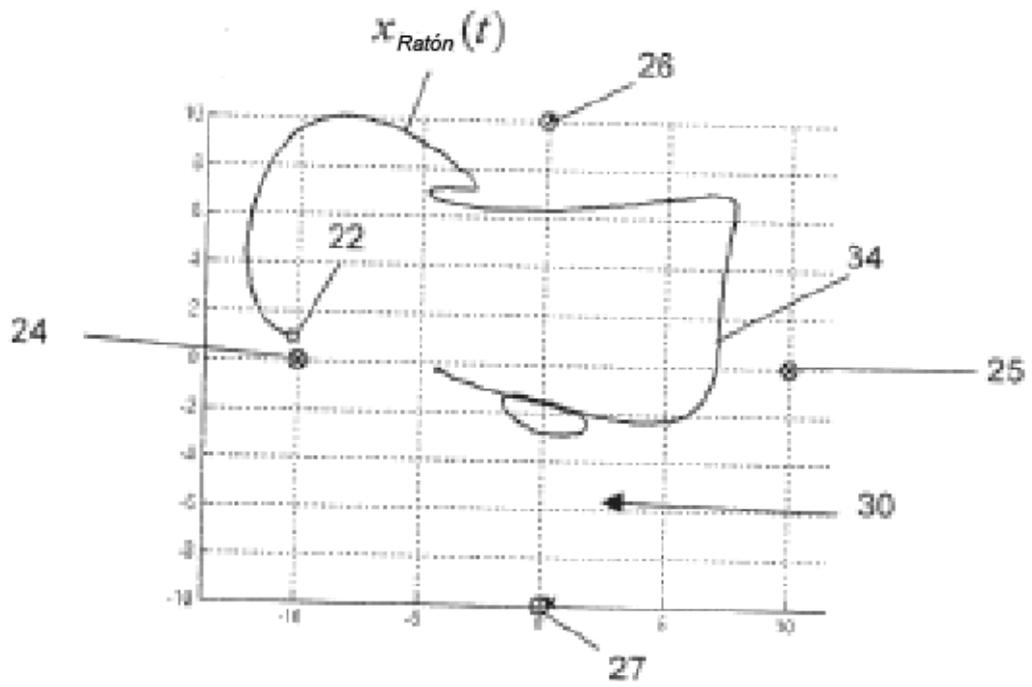


Fig. 4

Fig. 5

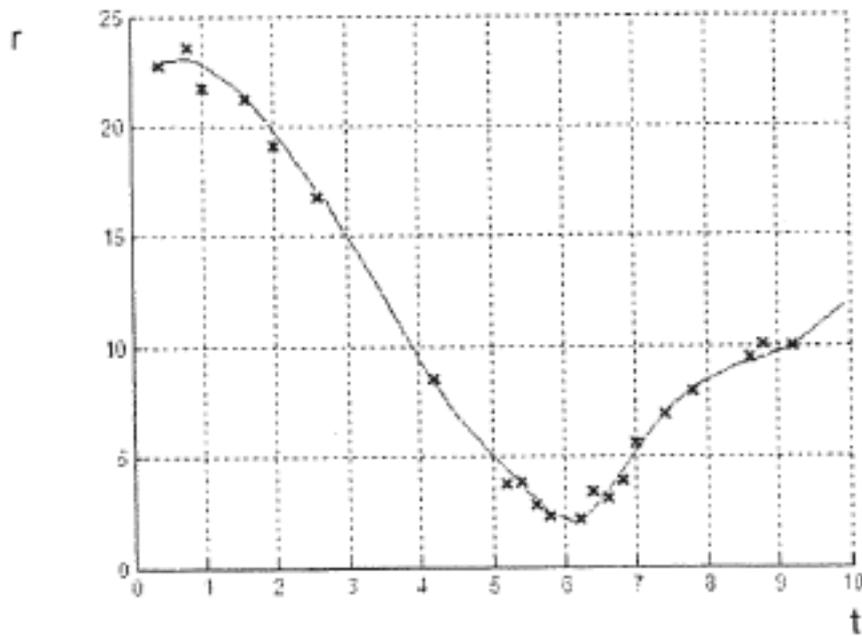
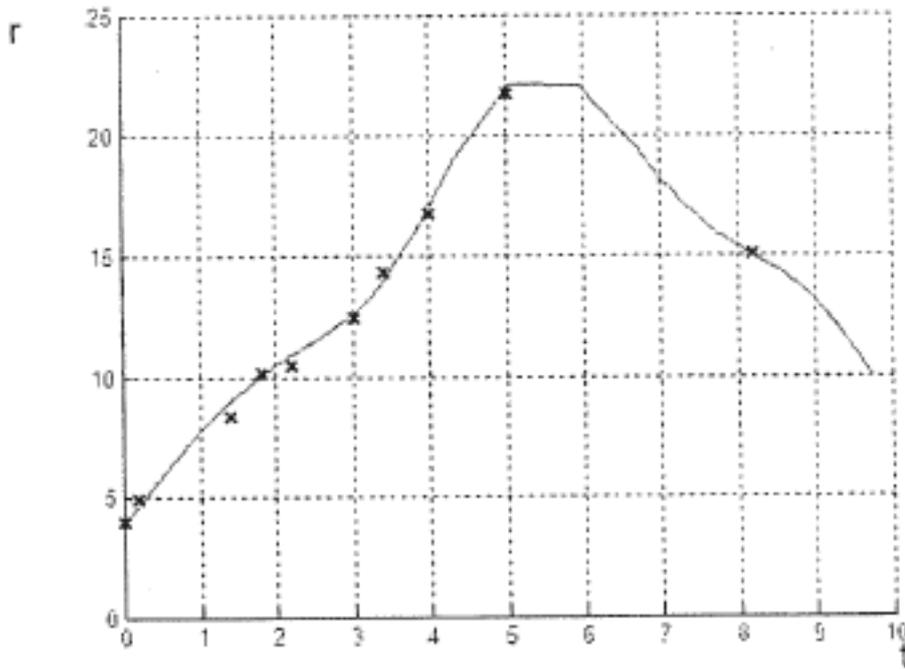


Fig. 6

Fig. 7

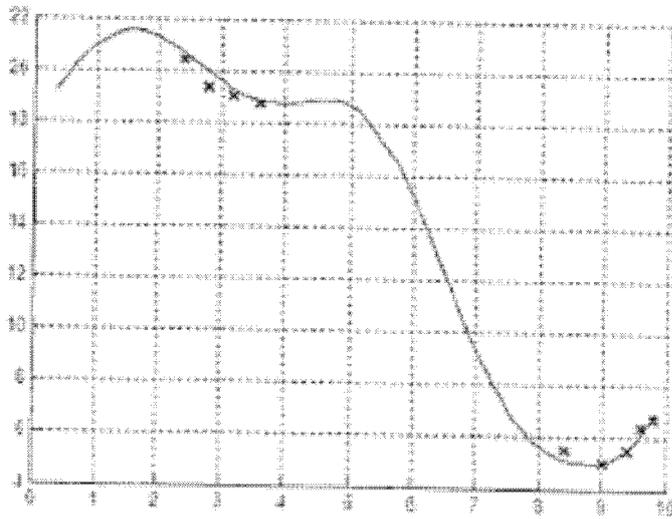
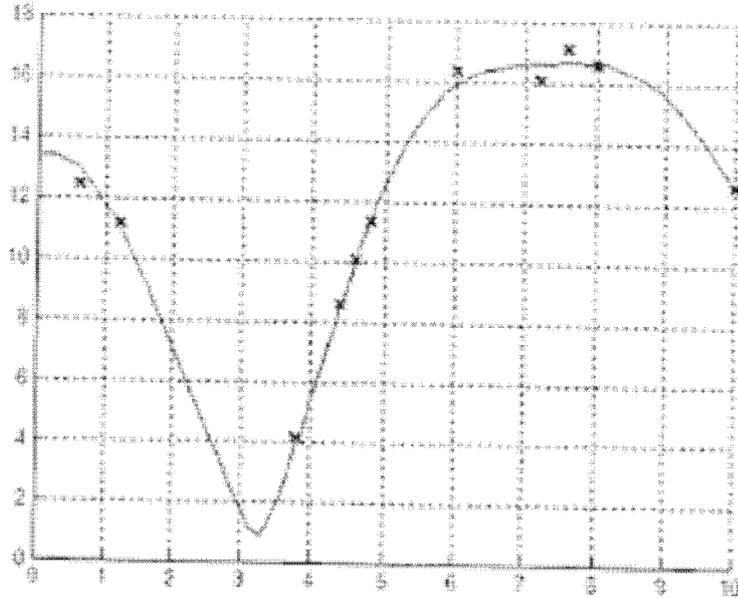


Fig. 8

Fig. 9

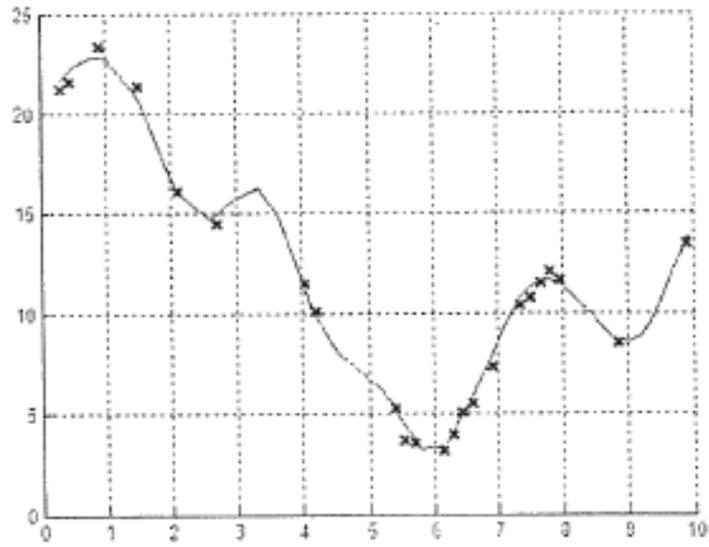
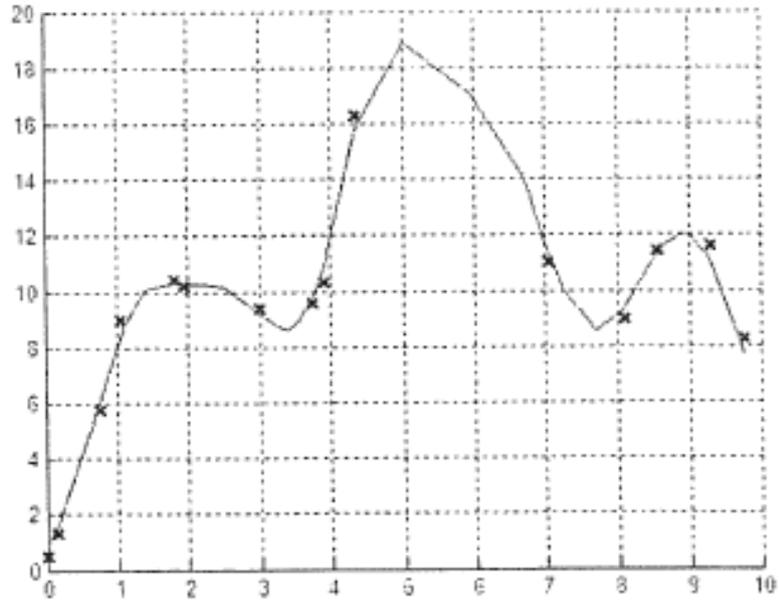


Fig. 10

Fig. 11

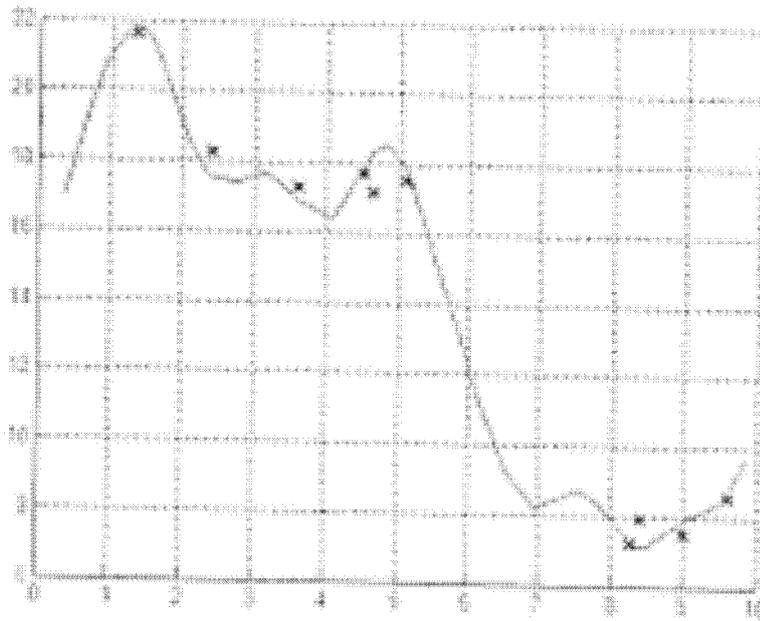
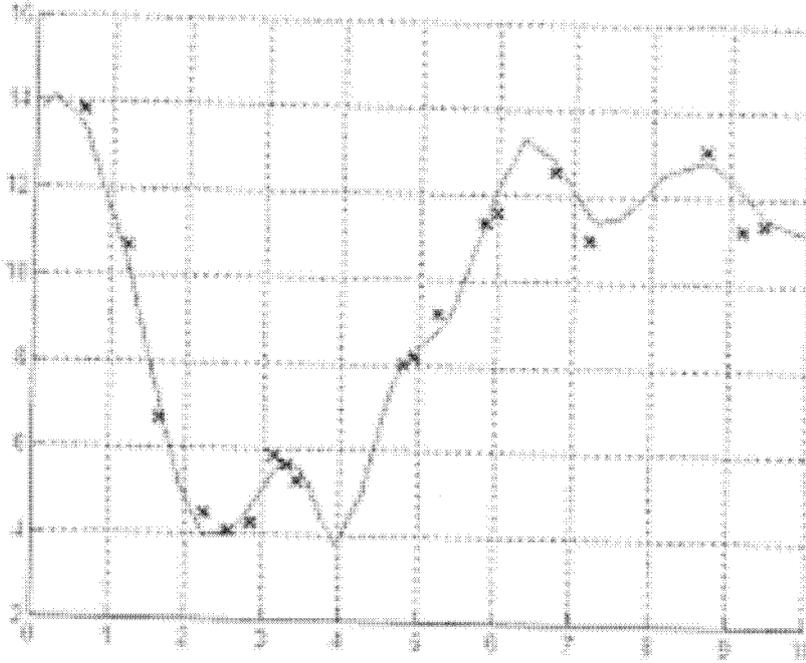


Fig. 12

Fig. 13

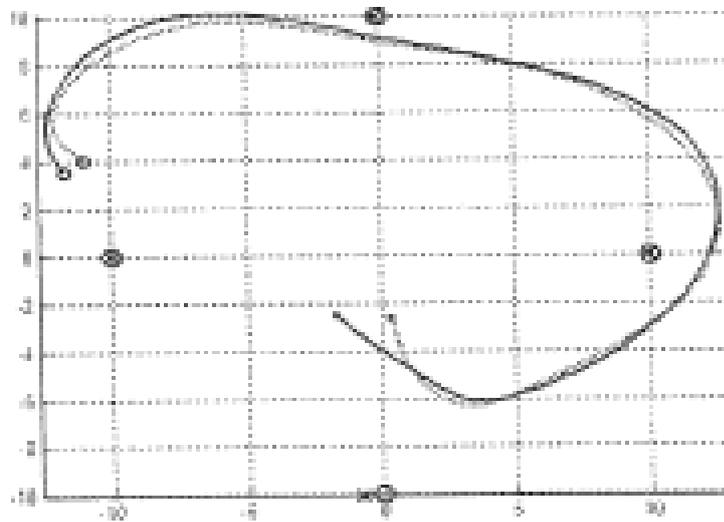
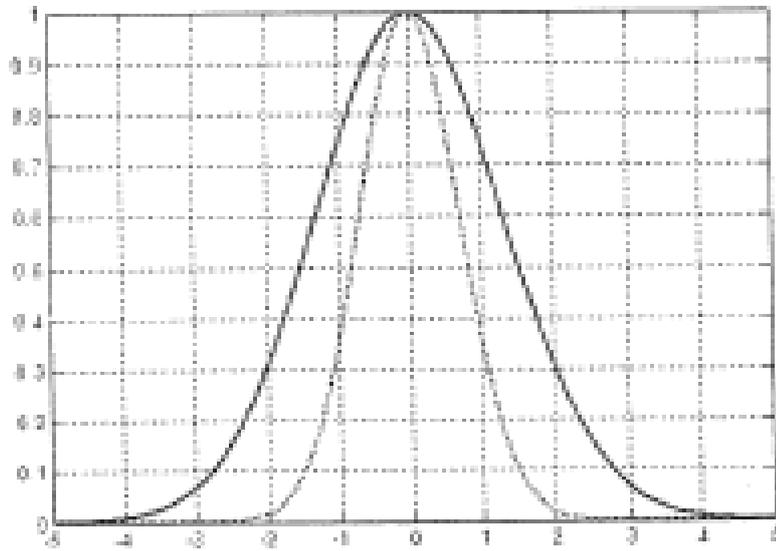


Fig. 14

Fig. 15

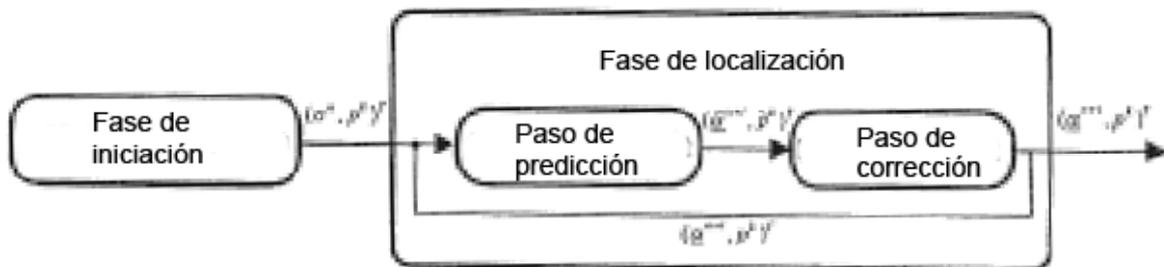
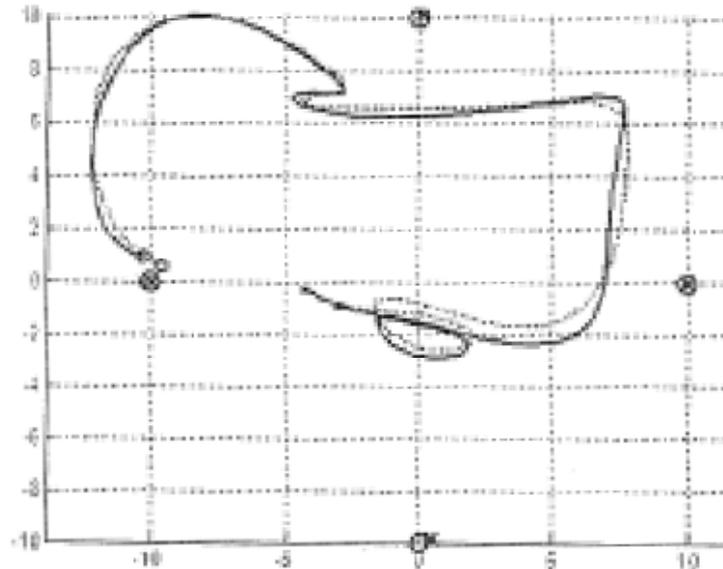


Fig. 16

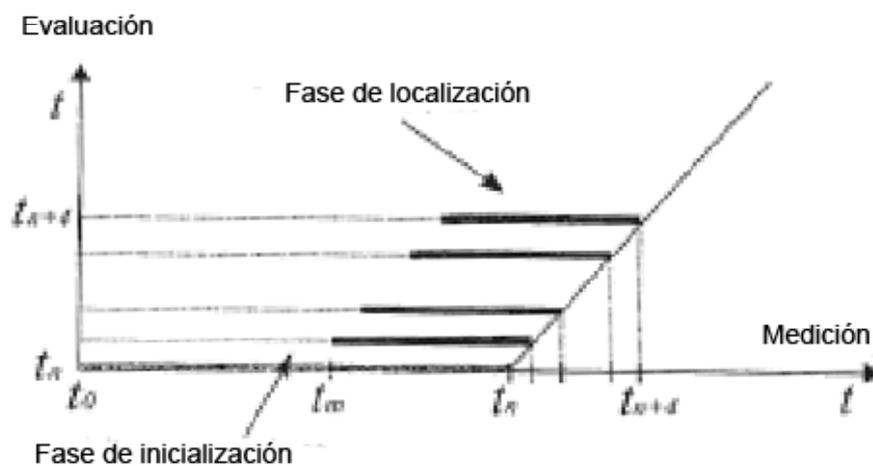


Fig. 17