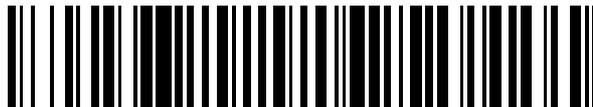


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 422 184**

51 Int. Cl.:

G01C 21/00 (2006.01)

G01C 21/16 (2006.01)

G05D 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.09.2004 E 04786654 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2013 EP 1664678**

54 Título: **Método y aparato para determinar la posición de un objeto bajo el agua en tiempo real**

30 Prioridad:

23.09.2003 US 504967 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.09.2013

73 Titular/es:

**HYDRO-QUEBEC (100.0%)
Technologie et Développement Ind., Direction
Valorisation, 1000, rue Sherbrooke Est, 16e étage
Montréal, Québec H3A 3G4, CA**

72 Inventor/es:

**BLAIN, MICHEL;
HOUDE, RÉGIS y
LALIBERTÉ, RICHARD**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 422 184 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

Método y aparato para determinar la posición de un objeto bajo el agua en tiempo real

5 REFERENCIA CON SOLICITUDES RELACIONADAS
Este es el primer campo de aplicación para la presente invención.

CAMPO TÉCNICO

10 Esta invención se refiere al campo de los robots. Más concretamente, esta invención pertenece al campo de la determinación en tiempo real de la posición de un vehículo subacuático operado por control remoto.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 Como parte del programa de seguridad de presas de agua, ha sido desarrollado un vehículo subacuático accionado remotamente (ROV) durante los pasados años. Tal vehículo accionado remotamente se puede utilizar en distintas tareas de inspección que tiene lugar en ambientes subacuáticos. El vehículo preferiblemente es utilizado para la inspección de superficies de presas, de interfaz roca hormigón, de equipos subacuáticos relacionados con la reducción de turbinas y para localizar defectos de importante tamaño.

20 Algunos expertos en la técnica apreciarán que a lo largo de los años, el deterioro del hormigón de la presa y otros elementos sumergidos necesita ser reparado. La inspección se realiza por tanto para preparar los trabajos de rehabilitación. La obstrucción de la toma de agua también es inspeccionada antes del proceso de limpiado.

25 Cuando el vehículo operado remotamente inspecciona la presa, las fisuras o defectos sobre la superficie son identificados utilizando por ejemplo una cámara a bordo, localizada de forma precisa y el vehículo operado remotamente es reproducido en un ambiente virtual. El ambiente virtual consiste en un modelo gráfico completo a escala (como está expuesto por ejemplo en Côté, J., Lavallée, J. "Augmented Reality Graphic, Interface for Upstream Dam Inspection", SPIE, Telemanipulator and Telepresence Technologies II, Filadelfia, Octubre de 1995) y el modelo gráfico y dinámico del submarino. Más tarde, las tripulaciones de mantenimiento volverán a los defectos identificados para seguir su evolución en el tiempo o para realizar la restauración. Para realizar tales tareas de forma eficiente, el

30 vehículo operado remotamente debe estar equipado con un sistema de navegación preciso, que proporcione su posición exacta con relación a la presa en tiempo real. El estado de los sistemas de navegación de la técnica no proporciona navegación en tiempo real para los vehículos subacuáticos debido a que la velocidad de muestreo para la posición de medida y la precisión del sistema normalmente no son demasiado elevadas.

35 En una realización en donde la viabilidad en el agua es muy baja o cuando la estructura de la presa es muy compleja, es necesario un sistema de navegación que proporcione la posición en tiempo real para localizar el vehículo operado remotamente.

40 Por ejemplo en "pos/sv- an aided inertial navigation system for submersible vehicles", Steeven Woolden, expone un sistema de navegación ayudado por la inercia que realiza un filtro de Kalman estrechamente vinculado para mezclar con los mejores datos de inercia de precisión posibles a partir de un subsistema de inercia de peso ligero y añadir los datos obtenidos a partir de una variedad de sensores. Sin embargo, pueden ocurrir disfunciones del sistema de tiempo real, debido a que los sensores que enviaron los datos a una velocidad no fija, debido a errores del sistema por ejemplo, y la adquisición de datos puede ser intermitente. En este caso, el cálculo de la posición del vehículo

45 sumergible no es realmente preciso.

Existe por tanto la necesidad de un método y aparato que supere las desventajas identificadas anteriormente.

SUMARIO DE LA INVENCION

50 Es un objetivo de la invención proporcionar un método para proporcionar una posición en tiempo real de un vehículo operado remotamente que funciona bajo el agua.

Otro objetivo de la invención es proporcionar un aparato para posicionar en tiempo real un vehículo operado remotamente que funciona bajo el agua.

55

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un método para determinar una posición subacuática en tiempo real de un objeto de acuerdo con la reivindicación 1.

60 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un aparato para determinar una posición en tiempo real de un objeto subacuático de acuerdo con la reivindicación 9.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

65 Características y ventajas de la presente invención se harán evidentes de la siguiente descripción detallada, tomada en combinación con los dibujos adjuntos, en los que:

la Figura 1 es un diagrama de bloques que muestra un sistema de visualización de acuerdo con una realización preferida de la invención;
 la Figura 2 es un gráfico que muestra la compensación de filtro de Kalman para la deriva de posición de la unidad de sensor de velocidad de Doppler 14;
 5 la Figura 3 es un gráfico que muestra el impacto, en el cálculo de posición, del retraso de posición acústico y los fallos de la unidad de sensor de velocidad de Doppler;
 la Figura 4 es un gráfico que muestra el cálculo de posición corregida para el retraso de posición acústico y los fallos de la unidad de sensor de velocidad Doppler 14;
 10 la Figura 5 es un gráfico que muestra el efecto de los errores de calibración en la posición del sistema de unidad de sensor de velocidad de Doppler 14;
 la Figura 6 es un gráfico que muestra los resultados experimentales del impacto de los fallos de la unidad de sensor de velocidad Doppler 14 en los cálculos de posición;
 la Figura 7 es un gráfico que muestra los resultados experimentales de la cálculo de posición Z durante los fallos de la unidad de sensor de velocidad Doppler 14; y
 15 la Figura 8 es un diagrama de bloques que muestra una realización en la que el sistema de navegación es utilizado de manera ventajosa.

Se observará que en los dibujos, las características iguales están identificadas con números de referencia iguales.

20 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA REALIZACIÓN PREFERIDA

Haciendo ahora referencia a la Figura 1 se muestra un diagrama de bloques que muestra un sistema de navegación 9 de acuerdo con una realización preferida de la invención.

25 Un sistema de navegación comprende una unidad de pre-procesamiento de datos 20 y una unidad de filtrado de Kalman 22.

Se apreciará que en el caso en el que se detecte un fallo/mal funcionamiento de un sensor dado, los datos proporcionados por ese sensor son descartados.

30 La unidad de pre-procesamiento de datos 20 recibe una señal X, Y, Z procedente de una unidad de sensor de datos absoluta 10, una señal de velocidad (V_x , V_y , V_z) y una señal de aceleración A_x , A_y y A_z proporcionada por la unidad de sensor de datos relativa 12 y una señal de datos de orientación proporcionada por una unidad de sensor de datos de orientación 14.

35 La unidad de sensor de datos absoluta 10 proporciona una señal de datos de posición absoluta a una primera frecuencia de muestreo con un error de posición medio igual a cero. Se apreciará que en una realización de la invención, la unidad de sensor de datos absoluta 10 puede estar referenciada como una unidad de sensor de posición.

40 La unidad de sensor de datos relativa 12 proporciona una señal de datos relativa a una segunda frecuencia de muestreo. Se apreciará que en una realización de la invención, la unidad de sensor de datos relativa 12 puede estar referida como una unidad de sensor de velocidad instantánea. En efecto, tal unidad de sensor de datos relativa 12 proporciona una velocidad instantánea, que da lugar a un cálculo de posición con un error medio que no es igual a cero.

45 Se apreciará que la segunda frecuencia de muestreo es sustancialmente más alta que la primera frecuencia de muestreo.

50 Se apreciará que la unidad de sensor de datos absoluta 10 comprende al menos uno de un batímetro que proporciona una señal Z y un sensor acústico que proporciona una señal X e Y.

Se apreciará además que la unidad de sensor de datos relativa 12 comprende al menos uno de un sensor Doppler que proporciona una señal V_x , V_y y V_z y un acelerómetro que proporciona una señal A_x , A_y y A_z .

55 Se apreciará que la unidad de sensor de datos de orientación 14 comprende al menos una de sensores giroscópicos que proporcionan una señal Ω_x , Ω_y , y Ω_z , un inclinómetro que proporciona una señal Ω_x , y Ω_y , y una brújula que proporciona una señal Ω_z .

60 La unidad de pre-procesamiento de datos 20 pre-procesa los datos recibidos y proporciona los datos procesado a la unidad de filtrado Kalman 22.

Como se explica más adelante, la unidad de filtrado Kalman 22 proporciona una señal de cálculo de posición.

65 En la realización preferida de la invención, el sistema de navegación del vehículo operado remotamente comprende una pluralidad de sensores 20, que proporciona información sobre la posición y movimiento del vehículo, una unida

de navegación 8. Preferiblemente, los datos del sensor proporcionados por la pluralidad de sensores 30 son redundantes con el fin de mejorar los cálculos de posición y superar los fallos del sensor.

5 Como se expone más adelante, la unidad de navegación 8 utiliza datos del sensor proporcionados por la pluralidad de sensores 30 y evalúa el mejor cálculo posible de la posición del vehículo. Como se expone más adelante, la unidad de navegación o funciona utilizando técnicas de filtrado de Kalman en la realización preferida.

10 Más concretamente, la unidad de navegación 8 combina la señal de posición dispuesta por la unidad de sensor de datos absoluta 10 y la señal de velocidad provista por la unidad de sensor de datos relativa 12 utilizando una señal de orientación provista por la unidad de sensor de datos de orientación 14 con el fin de proporcionar una señal de cálculo de posición en tiempo real.

15 En la realización preferida, la unidad de sensor de datos 10 comprende una unidad de sensor de batímetro que proporciona una señal Z y una unidad de sensor acústica que proporciona una señal X e Y.

Todavía en la realización preferida de la invención, la unidad de sensor de datos relativa 12 comprende una unidad de sensor Doppler que proporciona una señal V_x , V_y , V_z y una unidad de sensor de acelerómetro que proporciona una señal A_x , A_y , A_z .

20 La unidad de sensor de datos de orientación 14 comprende, en la realización preferida de la invención, una unidad de sensor de giróscopo que proporciona una señal Ω_x , Ω_y y Ω_z , un inclinómetro que proporciona una señal Ω_x , y Ω_y , y una brújula que proporciona una señal Ω_z . Se apreciará que la redundancia se utiliza de manera ventajosa para evitar fallos de sensor.

25 El trabajo de la técnica anterior en los sistemas de navegación que utiliza sensores Doppler y sensores acústicos se puede encontrar en Whitcomb, L.L., Yoerger, D.R., Hanumant, S. "Combined Doppler/LBL Based Navigation of Underwater Vehicles", Proc. del 11º Simposio Internacional en Tecnología Sumergible Sin Amarre No Tripulada, Durham, NH, Agosto de 1999 y en Spindel, R.C., Porer, R.P., Marquet, W.M., Durham, J.L. "A high-resolution pulse-Doppler underwater acoustic navigation system." Jornada IEEE de Ingeniería Oceánica, vol. OE-1 nº 1, pp. 6-13, 1976).

35 Los expertos en la técnica apreciarán que en sistemas reales, los sensores no siempre envían datos a una velocidad fija y la adquisición de datos a menudo es intermitente. Por tanto, los desarrollos tienen lugar para resolver el envío de datos asíncronos y los retrasos en las medidas. Un retraso en una medida está preferiblemente definido como el tiempo entre un momento en el que una medida es válida y un momento en el que está disponible para la unidad de navegación.

40 Se apreciará que la unidad de navegación está preferiblemente adaptada para aceptar las distintas velocidades de los datos que se originan a partir de una pluralidad de sensores 30. Además, se utiliza un proceso de conmutación de filtro para asegurar que sólo los datos valiosos son utilizados para el cálculo de la posición.

45 Se apreciará que la unidad de sensor de giróscopo y acelerómetro, normalmente proporciona posición, velocidades lineales y aceleraciones, orientación, y velocidades angulares. Sin embargo, en la realización preferida de la invención, solo se proporcionan orientación, velocidades angulares y aceleraciones por la unidad de sensor de giróscopo y acelerómetro.

Como se ha expuesto anteriormente, la pluralidad de sensores del sistema de navegación 9 comprende la unidad de sensor acústica que proporciona la señal X, Y, Z de un transductor de sónar montado en el submarino.

50 Se apreciará que la señal de posición provista por la unidad de sensor de posición acústico y la señal Z provista por la unidad de sensor de batímetro son combinadas juntas para proporcionar la señal de posición absoluta. Se apreciará que, en la realización preferida de la invención, la señal Z es recogida a partir de la unidad de sensor de batímetro, en lugar de procedente de la unidad de sensor de posición acústica ya que la unidad de sensor de batímetro proporciona una medida mucho más precisa, rápida y fiable.

55 Como se ha explicado anteriormente, la unidad de sensor de datos relativa 12 de la pluralidad de sensores 30 del sistema de navegación 9 comprende además una unidad de sensor de velocidad Doppler, comúnmente identificada como DVL, y que proporciona la señal de velocidad lineal X, Y, Z del vehículo. Después de la integración de la señal de velocidad lineales del vehículo, se proporciona la posición X, Y, y Z.

60 En la realización preferida, la pluralidad de sensores 30 tienen las siguientes características:

Instrumento	Variable	Frecuencia de Muestreo	Precisión	Rango	Varianza
DVL (DRI 1200)	Vx, Vy, Vz	6 Hz	± 0,2 % ± 1 mm/s	0,5 – 30 m	0,00009
Sistema de posicionamiento acústico (Linquest TrackLink 1500 HA)	Posición X, Y	0,25 Hz	± 0,2 m ± 0,5 % de distancia	un cono de 120° sobre 1500 m	0,005
Batímetro (Paroscientific 8CDP270-I)	Posición Z	5 Hz	± 1 cm	0 – 270 m	0,000013

Los filtros de Kalman están bien tratados en Brown, R.G., Hwang, P.Y.C. Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering, 3ª Edición, John Wiley & Sons, 1997, Como conocerán algunos expertos en la técnica, un filtro Kalman utiliza un cálculo lineal óptimo basado en un proceso iterativo y recursivo.

5 Más concretamente, el filtro Kalman evalúa de forma recursiva un cálculo óptico del estado de un sistema. Típicamente, un vector que describe el estado de un vehículo que evoluciona en un espacio 3D se puede expresar como

$$10 \quad x = [x \ y \ z \ \dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z} \ \alpha \ \beta \ \gamma \ \Omega_x \ \Omega_y \ \Omega_z]$$

en donde x y z son las coordenadas de posición del vehículo, \dot{x} \dot{y} \dot{z} son las correspondientes velocidades α β γ son los ángulos de Euler que describen la orientación del vehículo y Ω_x Ω_y Ω_z son las velocidades angulares.

15 En la realización preferida, el filtro Kalman utilizado, en la unidad de filtrado Kalman 22, se aplica a la posición del vehículo. X es el vector definido como $x = [x \ y \ z \ \dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z}]$.

20 El filtro Kalman produce un nuevo cálculo de la posición del vehículo cuando ocurre una de las siguientes situaciones. Si una nueva señal de posición que se origina a partir de la unidad de sensor de posición acústica, entonces el filtro Kalman de la unidad de filtrado Kalman 22 realiza un nuevo cálculo con la nueva señal de posición (proceso de actualización de medida). Si no hay una nueva señal de posición disponible antes de una cantidad fija de tiempo dt , entonces el *filtro Kalman* actualiza una posición actual en base a la información previa de la posición y velocidad (proceso de actualización de tiempo).

25 Como se describe mediante las siguientes ecuaciones 1 y 2, el cálculo óptimo de la iteración previa, observada $X(k-1)$ es proyectada en el tiempo a través de la matriz de transición de estado A , y las entradas de ruido $U(k)$ (unidad de sensor de datos relativa) son suministradas a un sistema a través de la matriz B , relacionado las entradas con el estado.

$$30 \quad P_{priori} = A \cdot P \cdot A' + Q \quad (1)$$

$$X(k) = A \cdot X(k-1) + B \cdot U(k) \quad (2)$$

35 En la ecuación 2, el estado X es la posición lineal del vehículo y U es la entrada procedente de un sensor de velocidad lineal. Las matrices A y B reflejan la cinemática del sistema.

La ecuación 1 proyecta en el tiempo la matriz de covarianza de error P , que representa la varianza del error en el estado calculado X . Q es la matriz covarianza asociada con el ruido de proceso procedente de las medidas $U(k)$.

40 Este proceso está formalizado por las ecuaciones 3 a 5, en las que las medidas de estado de ruido directas $Z(k)$ procedentes de la unidad de sensor absoluta 10 son comparadas con el cálculo de estado anterior $X(k_{past})$, produciendo una corrección para aplicar a este cálculo anterior para obtener un nuevo cálculo $X(k)$. La matriz H relaciona las medidas con el estado.

$$45 \quad K = P_{priori} \cdot H' \cdot (H \cdot P_{priori} \cdot H' + R)^{-1} \quad (3)$$

$$X_{corrigé}(k_{past}) = X(k_{past}) + K \cdot (Z - H \cdot X(k_{past})) \quad (4)$$

50

$$P = (I - K \cdot H) \cdot P_{\text{priori}} \quad (5)$$

5 La importancia de cada cálculo (el cálculo anterior $X(k_{\text{past}})$ y la medida $Z(k)$) se determina por la ganancia de Kalman K .

10 La ganancia de Kalman K es a su vez determinada por las matrices Q y R , que representan respectivamente la covarianza del ruido del proceso (medidas indirectas) y la covarianza de ruido de medida (medidas directas). La ganancia de Kalman K toma un valor comprendido entre 0 y 1, 0 que representa el uso de las medidas sólo indirectas, y 1 representa el uso de las medidas sólo directas.

15 La matriz de covarianza de error P , modificada en la ecuación 1, es de nuevo corregida en la ecuación 5 para reflejar el proceso de actualización de medidas. Continuando con el ejemplo anterior, $Z(k)$ en la ecuación 4 representa una medida procedente de un sensor de posición y h es igual a $[1 \ 0]$ dado que hay una correspondencia directa entre Z y X .

20 El ruido que se origina de la unidad de sensor de velocidad Doppler es acumulado sobre cada integración debido a que la velocidad es integrada para obtener la posición. Esto da lugar a un error de posición divergente y por tanto la unidad de sensor de posición acústica sola se vuelve no utilizable durante el periodo de tiempo largo como se muestra en la Figura 2. El error de posición de un sensor de posición directa típico, tal como la unidad de sensor de posición acústica es importante. Estos sistemas están sometidos a intermitencia y tiene niveles de ruido mayores en cortos periodos de tiempo. Sin embargo, sus cálculos de posición no se desvían en el tiempo. El error tiene una media próxima a cero, lo que les hace más fiables durante el funcionamiento prolongado.

25 La señal de cálculo de posición obtenida a partir de la unidad de filtrado de Kalman 22 que combina tanto la unidad de sensor de posición acústica como la unidad de sensor de velocidad Doppler ha sido simulada. Los resultados de la simulación se muestran en la Figura 2.

30 Como se muestra en la Figura 2, la combinación toma ventajas procedentes tanto de la unidad de sensor de posición acústica como de la unidad de sensor de velocidad Doppler y más concretamente de la ausencia de desviación de la unidad de sensor de posición acústica y la homogeneidad de la señal de velocidad proporcionada por la unidad de sensor de velocidad Doppler.

35 Sin embargo, se apreciará que la unidad de filtrado Kalman básica 22, que se utilizó para la generación de los resultados de la simulación en la Figura 2 no satisface la precisión requerida por la aplicación. En primer lugar, la señal de posición provista por la unidad de sensor de posición acústica no es válida en el momento en que se hace disponible, sino una cierta cantidad de tiempo después. El segundo lugar, si se produce un fallo de sensor, se debe borrar y la unidad de filtrado Kalman 22 no debería incorporar los datos provistos por el sensor que ha fallado en un nuevo cálculo. Finalmente, la velocidad de actualización de la pluralidad de sensores puede variar con cada sensor. Por ejemplo, si el vehículo está lejos de las balizas transpondedoras, la medida llevará más tiempo ya que una señal acústica depende de la distancia a las balizas transpondedoras.

45 Se apreciará que en la realización preferida de la invención, los datos que se originan en cada sensor preferiblemente requieren algunas transformaciones antes de ser enviados a la unidad de filtrado Kalman 22.

50 Más concretamente, el modelo cinemático del vehículo describe su movimiento con relación a un marco de inercia denominado marco fijo. Por comodidad, las ecuaciones dinámicas del vehículo están desarrolladas con relación a su centro de masa. Un marco de referencia identificado como local está unido al centro de masas y su orientación corresponde con el eje de inercia principal. Por lo tanto, la señal de posición y la señal de velocidad obtenidas de una pluralidad de sensores 30 son preferiblemente transformadas para describir la posición y velocidad del marco local relativo al marco fijo expresado en el marco fijo.

55 En la realización preferida, tal procesamiento se realiza mediante la unidad de pre-procesamiento de datos 20. La señal de posición proporcionada por la unidad de sensor de posición acústico se procesa como sigue.

$${}^{FIXE}P_{LOCAL} = {}^{FIXE}P_{PINGER} - \text{rot}\{FIXELOCAL\} {}^{LOCAL}P_{PINGER}$$

60 en donde ${}^{FIXE}P_{LOCAL}$ es el vector de posición del centro de masas del vehículo con respecto al marco fijo, ${}^{FIXE}P_{PINGER}$ es el vector de posición del transpondedor (la parte emisora del sistema acústico, y de este modo el punto cuya posición es medida por el sistema acústico) del vehículo con respecto al marco fijo, en donde $\text{rot}\{FIXELOCAL\}$ es una matriz de rotación para moverse desde un marco local al marco fijo en el pasado. La matriz se construye utilizando la orientación proporcionada por el $DQI(\text{rot}\{FIXE, DQI\})$ y su orientación en el vehículo

(rot{LOCAL, DQ!}).

$[\text{LOCAL P}_{\text{PINGER}}]_{\text{LOCAL}}$ es el vector de posición del transpondedor con respecto al centro de masas del vehículo y se mide en el marco del vehículo.

La señal de velocidad proporcionada por la unidad de sensor de velocidad Doppler es procesada como sigue.

$$[\text{FIXE } V_{\text{LOC}}]_{\text{FIXE}} = \text{ROT}\{\text{FIXE, DVL}\} [\text{FIXE } V_{\text{DVL}}]_{\text{DVL}} - [\text{FIXE } \Omega_{\text{LOC}}]_{\text{FIXE}} \wedge (\text{ROT}\{\text{FIXE, LOC}\} [\text{LOC } P_{\text{DVL}}]_{\text{LOC}})$$

en donde ROT{FIXE,DVL} es la matriz de rotación que describe la orientación de la unidad de sensor de velocidad Doppler con relación al marco fijo.

$[\text{FIXE } V_{\text{DVL}}]_{\text{DVL}}$ se obtiene utilizando la unidad de sensor de velocidad Doppler.

$[\text{FIXE } \Omega_{\text{LOC}}]_{\text{FIXE}}$ es la velocidad angular del marco local obtenida de una unidad de sensor de giróscopo.

$[\text{LOC } P_{\text{DVL}}]_{\text{LOC}}$ es el vector de posición de la unidad de sensor de velocidad Doppler con relación al marco expresado en el marco local.

Como se ha explicado anteriormente, los datos de los sensores son proporcionados por la pluralidad de sensores a diferentes velocidades de cambio.

Se apreciará que el algoritmo de fusión de sensor acepta señales asíncronas conmutando el procedimiento de cálculo apropiado dependiendo de que señal sea proporcionada. Por ejemplo, la unidad de sensor de velocidad Doppler proporciona la señal de velocidad a una velocidad aproximadamente 12 veces mayor que la velocidad a la que la señal de posición es proporcionada por la unidad de sensor de posición acústica.

Cuando la unidad de sensor de velocidad Doppler y la unidad de sensor de posición acústica proporcionan nuevos datos, se utiliza la unidad de filtro Kalman 22. Sin embargo, sólo 11 veces de cada 12 la unidad de sensor de velocidad de Doppler proporciona la señal de velocidad, y por tanto una integración simple de la señal de velocidad se utiliza para realizar la actualización de posición, tal integración se realiza en la unidad de filtrado Kalman 22.

La estampa de tiempo se graba cuando la señal de posición es proporcionada por la unidad de sensor de posición acústica. El valor de la estampa de tiempo es el momento real menos el retraso calibrado. Esta estampa de tiempo está asociada con la señal de posición.

El cálculo de posición entre las dos señales de posición se guarda en la memoria. Cuando se proporciona una nueva señal de posición mediante la unidad de sensor de posición acústica, el algoritmo realiza una corrección en el cálculo de posición gravado en la memoria en el momento indicado por la estampa de tiempo asociada con este nuevo dato. Después las actualizaciones de posición se realizan desde este momento al momento real utilizando la señal de velocidad proporcionada por la unidad de sensor de velocidad Doppler. En otras palabras, la actualización de posición X(kpast) de la Ecuación 4 es sustituida por el nuevo cálculo de posición y después la posición es actualizada integrando la señal de velocidad procedente de este nuevo cálculo de posición en el pasado al momento real utilizando la Ecuación 2. Esta fase de integración continúa hasta que se hace disponible una nueva señal de posición proporcionada por la unidad de sensor de posición. En la realización preferida, tal procesamiento se realiza mediante la unidad de filtrado Kalman 22.

Los datos con generados con el modelo dinámico del vehículo y su controlador correspondiente. En la Figura 2 y adicionales, la posición real del modelo está identificada como señal submarina Virtual. Un ruido blanco con varianza obtenida a partir de experimentos, como se muestra anteriormente, se añade las posiciones de señal submarina Virtual para generar la señal de posición proporcionada por la unidad de sensor de posición acústica.

La señal de velocidad proporcionada por la unidad de sensor de velocidad Doppler simulada se obtiene a partir de la velocidad del modelo. La señal de posición provista por la unidad de sensor de posición acústica está definida como "Señal de Posicionamiento V" y la unidad de sensor de de velocidad Doppler está definida como "DVL_ sólo señal de posición", mientras que la posición calculada por la unidad de filtrado de Kalman está identificada como "señal de posición Kalman".

Los resultados de la primera simulación, mostrados en la Figura 2, muestran la señal de posición Kalman provista por la unidad de filtrado Kalman 22, de la señales de posición provistas utilizando la unidad de sensor acústica y la señal de velocidad provista por la unidad de de sensor de velocidad Doppler de datos.

- 5 El vehículo empieza en la posición cero, después alcanza el primer objetivo a -2 m. En el instante $t = 500$ segundos, el vehículo alcanza el objetivo de posición 0 m y vuelve al objetivo de -2 m en el instante $t = 1000$ segundos. La finalidad de la simulación es validar la adecuada ejecución de la unidad de filtrado Kalman 22. La señal de posición proporcionada por la unidad de sensor de posición acústica se muestra en este gráfico para mayor claridad. La desviación de posición para la unidad de sensor de velocidad Doppler, y mostrada por la "DVL_sólo señal de posición" es muy lenta y el error se hace significativo sólo después de una hora de simulación. Los datos representados en este gráfico representan 30 minutos de simulación empezando después de cuatro horas de simulación.
- 10 Se apreciará que en esta simulación, la señal de posición proporcionada por la unidad de sensor de posición acústica es generada de manera instantánea (es decir, sin retraso) no existen errores de calibración en ningún sistema y no hay fallos de sensor en esta simulación.
- 15 Haciendo ahora referencia a la Figura 3, se muestra un gráfico que muestra una simulación destinada a exponer el impacto de los retrasos en la unidad de sensor de posición acústica y los fallos en la unidad de sensor de velocidad Doppler.
- 20 Se establece un retraso de 5 segundos en la unidad de sensor de posición acústica. También, para amplificar el impacto de la señal de posición proporcionada por la unidad de sensor de posición acústica en el cálculo de posición, la varianza relacionada con la unidad de sensor de posición acústica está establecida en 0,002. Durante los diez primeros segundos, el efecto del retraso es que la curva de la señal de posición Kalman está detrás de la curva de la señal submarina Virtual.
- 25 El fallo de la unidad de sensor de velocidad Doppler 14 se produce a 11 segundos cuando la curva de señal activa DVL Kalman cambia desde el nivel uno al nivel cero y se hace activa de nuevo a 12 segundos. Durante el tiempo de fallo, la unidad de filtrado Kalman 22 considera la entrada de unidad de sensor de velocidad Doppler como valor cero. Los retrasos en la unidad de sensor de posición acústica y los fallos en la unidad de sensor de velocidad Doppler son inherentes a este sistema de navegación.
- 30 20 segundos después del inicio de la simulación, el error acumulado del retraso en la unidad de sensor de posición acústica y el fallo de la unidad de sensor de velocidad Doppler es aproximadamente 20 cm.
- 35 Haciendo ahora referencia a la Figura 4, se muestra una simulación adicional que expone las correcciones hechas para el retraso en la unidad de sensor de posición acústica para el fallo de la unidad de sensor de velocidad Doppler. La descripción de la corrección aplicada en el caso de fallo de la unidad de sensor de velocidad Doppler es muy simple en este algoritmo y funciona bien para periodos de tiempo pequeños. El algoritmo mantiene la última señal de velocidad válida y realiza el procedimiento de actualización de tiempo con ella. Después, la velocidad válida es reducida en un cierto porcentaje y el resultado se convierte en la nueva velocidad válida para la siguiente actualización de tiempo.
- 40 Durante los primeros 10 segundos de simulación, la curva calculada de posición (es decir, la curva de "señal de posición Kalman") sigue la curva de posición (es decir la curva de "señal submarina Virtual") del modelo. Esto representa una mejora en comparación con la simulación anterior. El primer fallo de unidad de sensor de velocidad Doppler se produce en 11 segundos como se muestra mediante la curva de "señal activa DVL de Kalman". Aunque existe todavía desviación del cálculo de posición con relación a la posición del vehículo, el error de posición generado por el fallo de la unidad de sensor de velocidad de Doppler es pequeño comparado con el obtenido en la simulación previa. 20 segundos después del inicio – de la simulación, el error acumulado del retraso y el fallo de la
- 45 unidad de sensor de velocidad Doppler es menos que 5 cm. Por otra parte, para un fallo de la unidad de sensor de velocidad Doppler que dura más de 5 segundos, como el que empieza a 25 segundos, el uso de la última velocidad válida genera un importante error debido a que el vehículo cambia su dirección de velocidad durante el fallo de la unidad de sensor de velocidad Doppler. Sin embargo, a medida que el tiempo transcurre, la curva calculada de posición se aproxima mediante pequeños pasos a la curva de posición del vehículo bajo la influencia de la unidad de sensor de posición acústica mientras que el vehículo está en un descanso.
- 50 La señal de velocidad proporcionada por el sistema de unidad de sensor de velocidad Doppler es la velocidad lineal de un punto particular en el vehículo. La transformación aplicada a las velocidades depende de las velocidades angulares y las coordenadas de posición del centro del sistema de unidad de sensor de velocidad Doppler del marco local. Esta transformación es necesaria y la calibración se debería hacer de forma precisa. En la siguiente simulación, mostrada en la Figura 5, la unidad de sensor de velocidad Doppler está situada a (-25 cm, 0, 25 cm) con relación al marco local. Sin embargo, un error de 5 cm con relación al eje X e Y está hecho para que esta información considere que el sistema de unidad de sensor de velocidad está situado a (-20 cm, 0, -20 cm). La desviación de posición depende del desplazamiento angular y se puede observar en la Figura 5 que un error pequeño en la posición de unidad de sensor de velocidad Doppler genera un error considerable en la posición del
- 55 vehículo.
- 60
- 65

La unidad de sensor de batímetro se utiliza para proporcionar la coordenada Z y sustituye la unidad de sensor de posición acústica utilizada para la coordenada Z en la simulación. Sin embargo, el interés es mayor en la observación del comportamiento descrito previamente que en la reproducción de los resultados de simulación. En las siguientes figuras, el error absoluto es el batímetro y la curva correspondiente está identificada como “Señal de posición de batímetro”. La unidad de sensor de batímetro es precisa y se puede considerar como una referencia para establecer un punto de comparación con la curva obtenida de la unidad de filtrado Kalman 22. La curva de posición obtenida por integración simple de la señal de velocidad proporcionada por el sensor de velocidad Doppler no está graficada. Sin embargo, la señal de velocidad proporcionada por la unidad de sensor de velocidad Doppler es el único dato utilizado en la unidad de filtrado Kalman 22, así, la curva de señal de posición de Kalman representa la posición calculada utilizando la unidad de sensor de velocidad Doppler. La curva de “señal activa de DVL de Kalman” indica si la unidad de sensor de velocidad Doppler está activa (nivel superior) o no (nivel inferior). En la Figura 6, el sistema de unidad de sensor de velocidad Doppler ha fallado muchas veces. Durante un fallo de corto tiempo, el uso de la velocidad anterior permite que la unidad de filtrado Kalman 22 mantenga su curva en la curva de unidad de sensor de Batímetro. Sin embargo, si la unidad de sensor de velocidad Doppler es caída durante un periodo de tiempo largo, la unidad de filtrado de Kalman no proporciona unos resultados adecuados. Hay un ejemplo de esa situación que empieza a 22 segundos en la Figura 6.

Para la coordenada Z, dado que la unidad de sensor de Batímetro tiene una precisión bastante buena y tiene una anchura de banda relativamente alta, el algoritmo utiliza su señal durante el fallo de la unidad de sensor de velocidad Doppler en lugar de realizar la actualización de tiempo utilizando la velocidad válida precedente como se muestra en la Figura 7.

Su ha expuesto un sistema de navegación que utiliza una unidad de filtrado Kalman para fusionar datos recibidos de una unidad de sensor de posición acústica, una unidad de sensor de Batímetro y una unidad de sensor de velocidad Doppler. El impacto del retraso de la señal de posición proporcionado por la unidad de sensor de posición acústica y el fallo de la unidad de sensor de velocidad Doppler en el cálculo de posición han sido destacado mediante la simulación. El algoritmo de la unidad de filtrado Kalman 22 comprende una corrección para un retraso de tiempo fijo de la unidad de sensor de posición acústica y los resultados de simulación muestran una mejora apreciable del cálculo de posición.

Sin embargo, los expertos en la técnica saben que el retraso de tiempo no es fijo. Por tanto, se puede crear un modelo de este retraso de tiempo para obtener los completos beneficios de este desarrollo. Durante fallos cortos de la unidad de sensor de velocidad Doppler, el algoritmo de navegación compensa la información perdida. Se apreciará que es de suma importancia medir de forma precisa la posición y orientación de los sistemas de posición den un vehículo con el fin de realizar las transformaciones de coordenadas de forma precisa con relación al marco local.

Haciendo ahora referencia a la Figura 8, se muestra un diagrama de bloques que muestra cómo el sistema de navegación 9 se puede utilizar de manera ventajosa en un submarino operado remotamente.

El sistema comprende el sistema de navegación 9, una unidad de generación de ambiente virtual 40, una interfaz de usuario 42, una unidad de procesamiento 44, una unidad de memoria 46 y una unidad de adquisición de datos 48.

La unidad de generación de ambiente 40 genera un ambiente virtual en el que el submarino operado remotamente funciona como se explica más adelante.

La interfaz de usuario 42 es utilizada para presentar el ambiente virtual generado a un operador. La interfaz de usuario 42 también puede ser utilizada para controlar el submarino operado remotamente.

La unidad de adquisición de datos 48 proporciona una señal de datos adquiridos. La unidad de adquisición de datos 48 también puede ser una de una cámara, un sónar y un láser. La unidad de adquisición de datos 48 se utiliza para proporcionar información pertinente recogida en las inmediaciones del vehículo operado remotamente.

La unidad de procesamiento 44 recibe la señal de datos adquiridos, procesa la señal de datos adquiridos recibidos y proporciona los datos procesados a la unidad de generación de ambiente virtual 40.

La unidad de memoria 46 se puede utilizar para almacenar al menos una parte de los datos procesados.

La unidad de generación de ambiente virtual combina la señal de cálculo de posición y la señal de datos procesados para generar un ambiente virtual. Preferiblemente, el ambiente virtual es una vista en 3 dimensiones del vehículo operado remotamente junto con los objetos circundantes de interés. Los objetos de interés son preferiblemente detectados utilizando la unidad de adquisición de datos 48. Alternativamente, los objetos de interés pueden ser introducidos, por el operador, en el ambiente virtual generado por la unidad de generación de ambiente virtual 40 utilizando la interfaz de usuario 42. Se apreciará que el ambiente virtual puede comprender además datos de

navegación relacionados con el vehículo operado remotamente. Tales datos de navegación pueden comprender al menos una de orientación, velocidad, cabeceo, etc.

5 Se apreciará que en tal ambiente el vehículo operador remotamente se puede utilizar de manera ventajosa, debido a su sistema de navegación preciso 9 que proporciona la señal de cálculo de posición (posición en tiempo real) con el fin de localizar defectos, para dar seguimiento a los defectos detectados, para manipular objetos o para realizar reconstrucciones en 3D de una estructura sumergida o del lecho marino.

10 En el caso en el que el vehículo operado remotamente se utiliza para realizar reconstrucciones en 3D de una estructura sumergida o del lecho marino, la unidad de adquisición de datos es un sónar.

15 En el caso en el que sea inspeccionada una estructura sumergida, la estructura sumergida puede ser una de una presa, una estructura de toma, un aliviadero, una esclusa, un conducto de descarga, un casco de barco, o una pila de puente.

En el caso de una presa o pila de puente, se pueden inspeccionar grietas, defectos o contactos roca-hormigón.

20 En el caso de una estructura de toma, se pueden inspeccionar rejillas de retención de residuos, compuertas, conductos forzados.

En el caso de aliviaderos, se pueden inspeccionar compuertas hormigón, acero y muelles.

25 Alternativamente, se apreciará que las turbinas hidroeléctricas se pueden inspeccionar desde el agua, daños de erosión por cavitación y grietas también se pueden inspeccionar.

Alternativamente, se apreciará que un casco de barco se puede inspeccionar para detectar al menos uno de un defecto, un objeto extraño y una amenaza de seguridad.

30 También se puede conectar un brazo de operación vehículo operado remotamente y se pueden realizar tareas bajo el agua, tales como trituraciones, limpieza, agarres de objetivos. Las esclusas se pueden desbloquear también y se pueden localizar daños.

35 Las realizaciones de la invención descritas anteriormente están sólo destinadas a constituir un ejemplo, El campo de la invención, por tanto, está destinado a ser limitado únicamente por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para determinar una posición subacuática en tiempo real de un objeto, comprendiendo dicho método las etapas de:
- 10 tomar una muestra de una primera señal (X, Y, Z) correspondiente a dicha posición de dicho objeto a una primera frecuencia dada, con un error de posición medio igual a cero;
tomar una muestra de una segunda señal correspondiente a, al menos una de, velocidad (V_x , V_y , V_z) y una aceleración (A_x , A_y , A_z) de dicho objeto a una segunda frecuencia más alta que dicha primera frecuencia, dando lugar a un cálculo de posición con un error medio que no es igual a cero;
combinar dicha primera señal con dicha segunda señal para proporcionar dicha posición a dicha segunda frecuencia dada teniendo en cuenta el suministro de datos asíncronos y compensación de los retrasos en las medidas.
- 15 2. El método como el reivindicado en la reivindicación 1, en el que dicha combinación comprende tener en cuenta los fallos de sensor cuando se toma una muestra de la primera señal y de la segunda señal.
- 20 3. El método como el reivindicado en la reivindicación 1, en el que dicha combinación comprende asociar un primer peso a dicha primera señal y un segundo peso a dicha segunda señal.
4. El método como el reivindicado en la reivindicación 3, en el que la asociación de dicho primer peso a dicha primera señal y dicho segundo peso a dicha segunda señal comprende la utilización de filtrado Kalman.
- 25 5. El método como el reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicha primera señal es proporcionada utilizando una unidad de sensor de posición acústica.
6. El método como el reivindicado en la reivindicación 5, en el que dicha unidad de sensor de posición acústica proporciona una señal de posición X, Y, y en el que además una unidad de sensor de Batímetro proporciona una señal de posición Z.
- 30 7. El método como el reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que además dicha segunda señal corresponde a dicha velocidad, en el que además dicho muestreo de dicha segunda señal comprende utilizar una unidad de sensor de velocidad Doppler.
- 35 8. El método como el reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que dicha segunda señal corresponde a dicha aceleración, y en el que además dicho muestreo de dicha segunda señal comprende utilizar una unidad de sensor de giróscopo y acelerómetro.
- 40 9. Un aparato (9) para determinar una posición en tiempo real de un objeto subacuático, comprendiendo dicho aparato
- 45 una unidad de sensor de posición (10) que tiene un error medio igual a cero para proporcionar una señal de posición (X, Y, Z) de dicho objeto a una primera frecuencia dada;
al menos una de una unidad de sensor de velocidad instantánea y una unidad de sensor de aceleración (12) para proporcionar al menos una de una señal de velocidad instantánea correspondiente (V_x , V_y , V_z) y una señal de aceleración instantánea correspondiente (A_x , A_y , A_z) a una segunda frecuencia dada mayor que dicha primera frecuencia dada; y
una unidad de proporcionamiento de posición 8 que recibe y combina dicha señal de posición y dicha al menos una señal de velocidad instantánea correspondiente y dicha señal de aceleración instantánea correspondiente para proporcionar dicha señal de posición en tiempo real a dicha segunda frecuencia dada teniendo en cuenta el suministro de datos asíncronos y la compensación de los retrasos en las medidas.
- 50 10. El aparato como el reivindicado en la reivindicación 9, en el que dicha unidad de proporcionamiento de posición comprende una unidad de filtrado Kalman 22 que recibe dicha señal de posición y dicha al menos una señal de velocidad instantánea y dicha señal de aceleración instantánea para proporcionar dicha señal de posición de dicho objeto en tiempo real.
- 55 11. El aparato como el reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 10, en el que dicha unidad de sensor de posición comprende una unidad de sensor de posición acústica.
- 60 12. El aparato como el reivindicado en la reivindicación 10, en el que dicha unidad de sensor de posición acústica proporciona una señal de posición X, Y, en el que además dicho aparato comprende una unidad de sensor de Batímetro para proporcionar una señal de posición Z.

13. El aparato como el reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que dicha unidad de sensor de velocidad comprende una unidad de sensor de velocidad Doppler.
- 5 14. El aparato como el reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que dicha unidad de sensor de velocidad instantánea comprende una unidad de sensor de giróscopo y acelerómetro.
- 10 15. El aparato como el reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en el que la unidad de proporcionamiento de posición también tiene en cuenta fallos de sensor cuando se combina dicha señal de posición y dicha al menos una de dicha señal de velocidad instantánea correspondiente y dicha señal de aceleración instantánea correspondiente.
16. Un objeto operado remotamente que comprende un aparato para determinar una posición en tiempo real, como se ha reivindicado en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15.

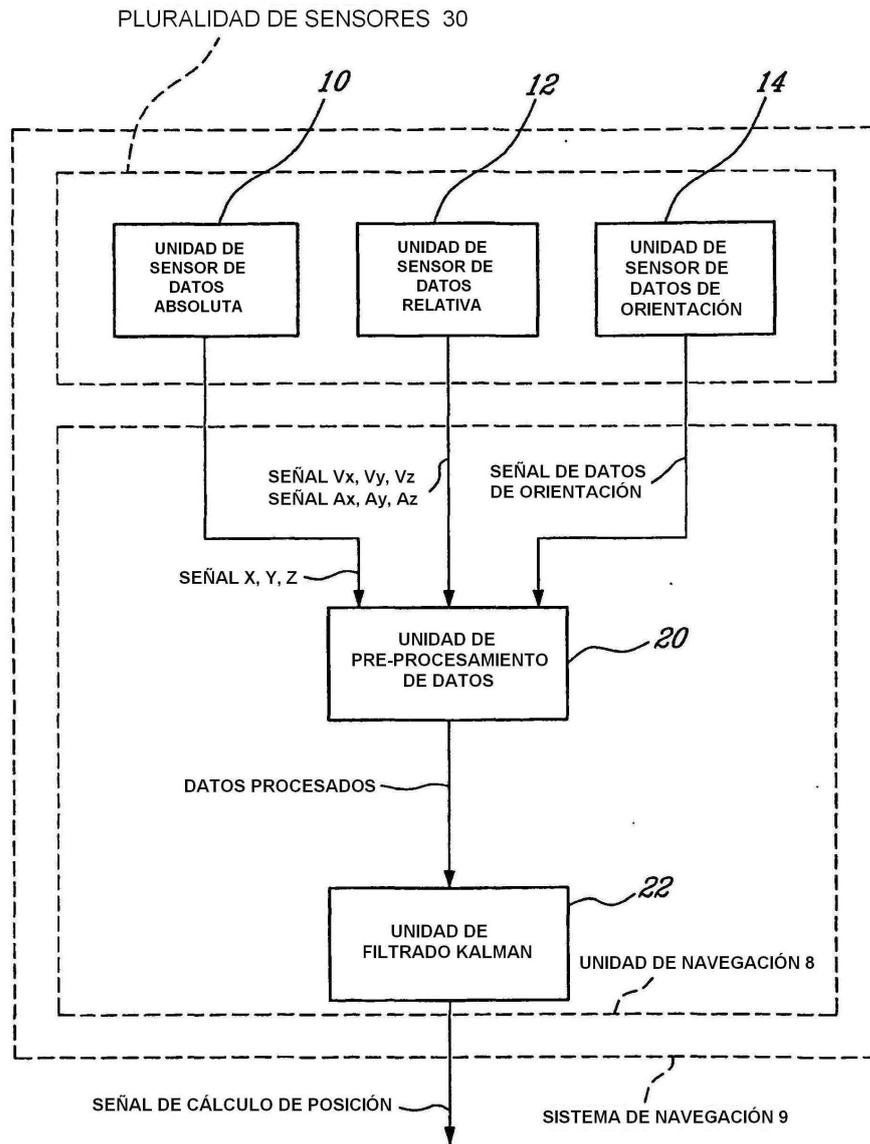
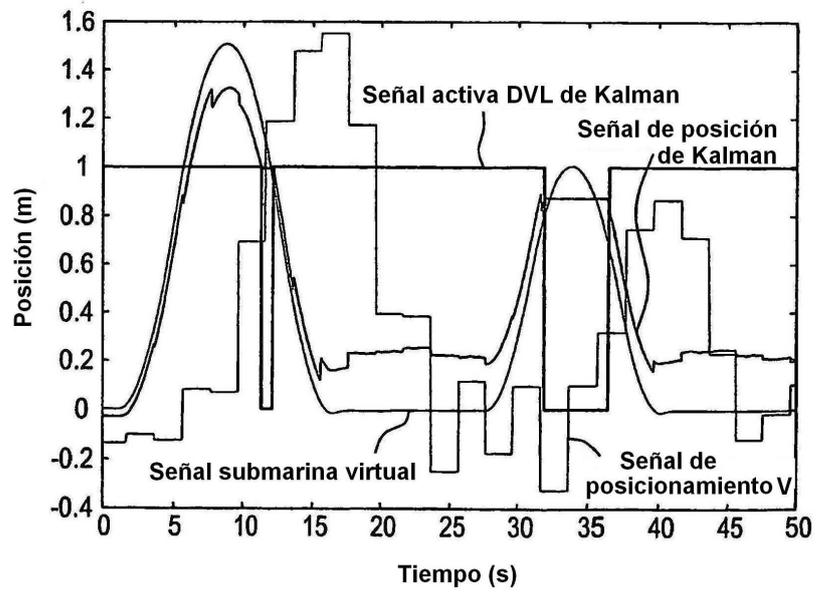
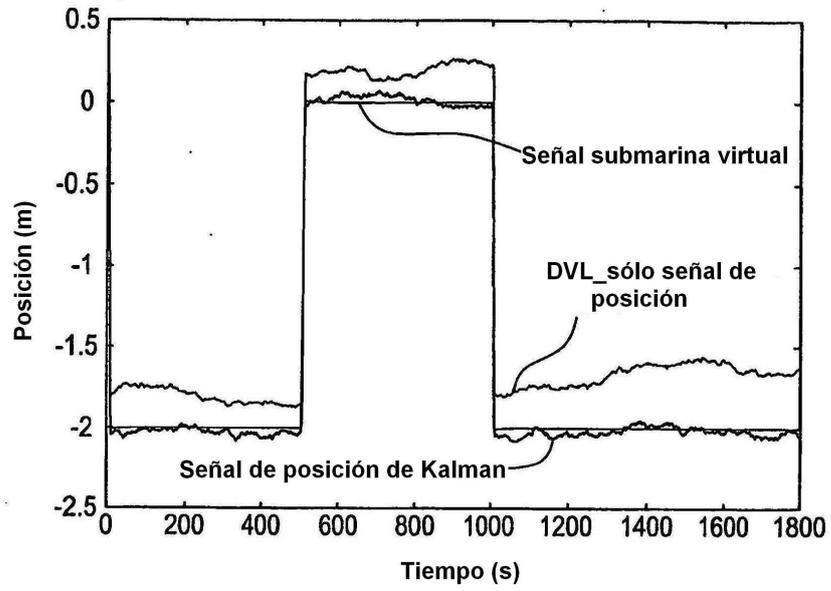


FIG. 1



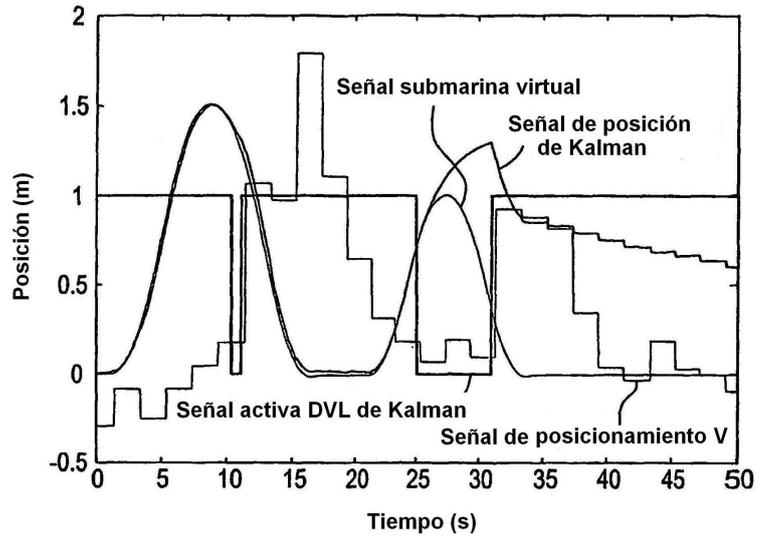


Fig. 4

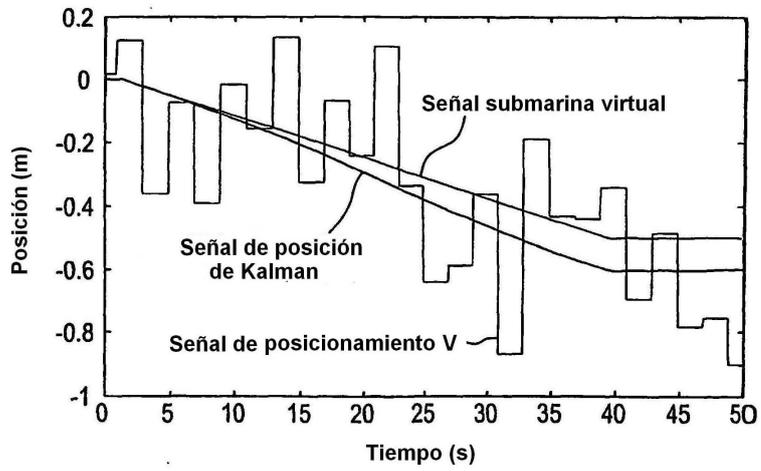
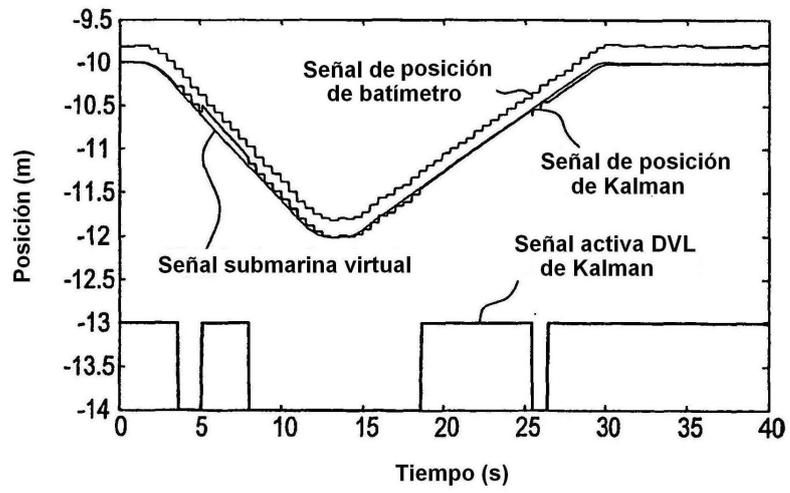
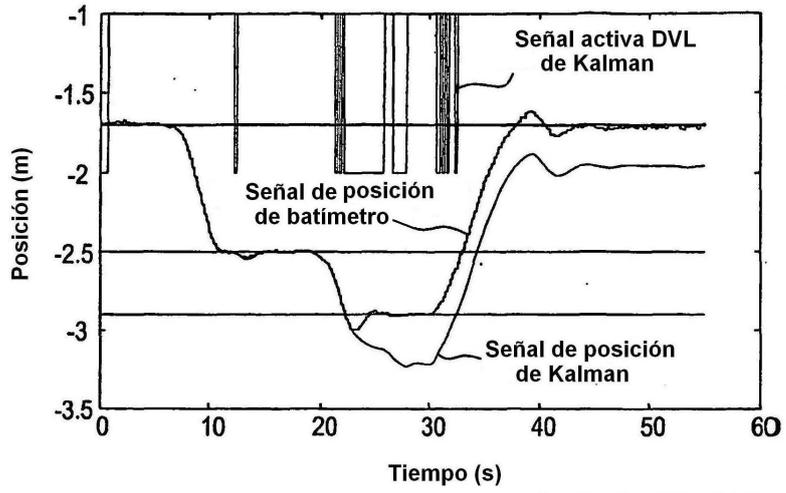


Fig. 5



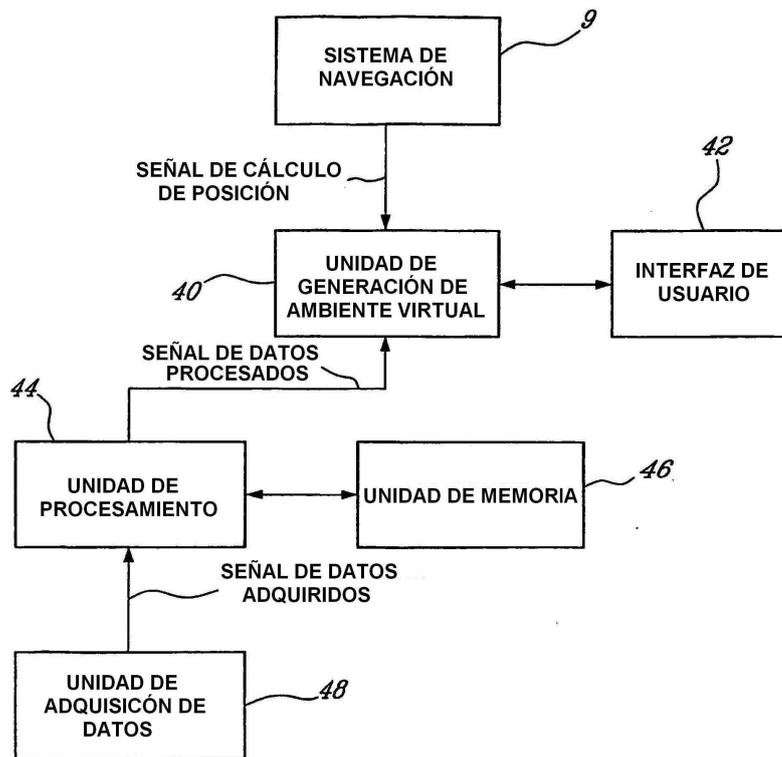


Fig. 8