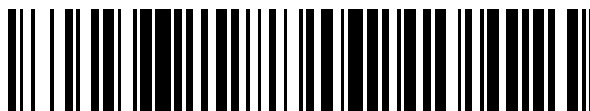


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 706 123**

51 Int. Cl.:

G05D 1/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.07.2010** **PCT/GB2010/051210**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.02.2011** **WO11012882**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2010** **E 10735331 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.09.2018** **EP 2460059**

54 Título: **Estimación de posiciones de un dispositivo y de al menos un objetivo en un entorno**

30 Prioridad:

28.07.2009 GB 0913078
28.07.2009 EP 09275054

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.03.2019

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.0%)
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

GROVER, RICHARD FRANCIS y
DAY, PETER STEPHEN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 706 123 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

Estimación de posiciones de un dispositivo y de al menos un objetivo en un entorno

La presente invención se refiere a estimar una posición de un dispositivo en un entorno y a estimar posiciones de un dispositivo y de al menos un objetivo.

5 La planificación autónoma de maniobras de vehículo involucra a menudo dos tipos distintos de información con el fin de estimar la posición de un vehículo y de objetos en su proximidad. La información global es proporcionada en un sistema de coordenadas fijo externo al vehículo, por ejemplo, el sistema de coordenadas usado por el GPS (del inglés "Global Positioning System", sistema de posicionamiento global), y la información local es proporcionada con respecto a un sistema de coordenadas que puede moverse con el vehículo. En su forma más simple, la información global son datos proporcionados por sistemas "externos", donde es necesario un marco de referencia compartido para comunicar los datos, mientras que la información local está disponible en una forma relativa y puede no necesitar ningún conocimiento de referencia externo.

10 Los enfoques tradicionales mapean la información local en coordenadas globales y usan esa información para conseguir tareas tales como mapear, o planificar y ejecutar maniobras. De este modo, puede ser necesario manejar varios sistemas de coordenadas diferentes: el sistema de coordenadas global, un sistema de coordenadas de marco local que está fijado a y se mueve con el vehículo, y/o un sistema de coordenadas de marco localmente alineado que se mueve con el vehículo, pero permanece paralelo al marco global en todo momento.

15 En el conocido algoritmo de localización y conversión simultáneas (SLAM, del inglés "Simultaneous Localisation and Mapping") (véase, por ejemplo, Durrant-Whyte, H. y Bailey, T. (2006a) "Simultaneous Localization and Mapping: Part I", IEEE Robotics and Automation Magazine, junio de 2006, pp. 99-108) la localización de un número de puntos de referencia y la posición del vehículo son estimadas simultáneamente con respecto a un marco de coordenadas globales fijo. Como las posiciones de los puntos de referencia y la posición del vehículo son observadas simultáneamente cuando se hacen medidas locales, están disponibles correlaciones proporcionadas por el uso del algoritmo SLAM (con la limitación de los errores de linealización introducidos por el filtro de Kalman extendido (EKF, del inglés "Extended Kalman Filter") usado a menudo para implementar el algoritmo). Adicionalmente a combinar óptimamente las medidas locales, pueden usarse sensores auxiliares adicionales tales como sistemas GPS pueden usarse para observar directamente la localización global del vehículo (y como la localización del vehículo está correlacionada con los puntos de referencia, esto también reduce las incertidumbres globales marginales para las posiciones de los puntos de referencia). De forma importante, las posiciones relativas de los puntos de referencia son conocidas con una incertidumbre que se reduce de forma monótona, incluso cuando sus incertidumbres marginales globales pueden crecer arbitrariamente. Igualmente, como la localización del vehículo está correlacionada con las posiciones de los puntos de referencia como efecto del proceso de observación, la posición relativa de los puntos de referencia respecto al vehículo será siempre mejor que la diferencia entre sus localizaciones globales marginales.

20 Una de las desventajas más significativas de usar un enfoque de tipo SLAM para mantener la información es que la complejidad computacional se incrementa como una función del cuadrado del número de puntos de referencia, y el filtro EKF eventualmente (y necesariamente) introduce inconsistencias en las estimaciones. Aunque esto puede ser suficiente para un entorno relativamente simple y estructurado, es improbable que la operación en un entorno complejo sea computacionalmente factible. Esto tiene un impacto particularmente notable cuando el algoritmo SLAM es usado directamente como un estimador de la localización del vehículo dentro de un bucle de guía y control. En este caso, el bucle de control está limitado a una tasa máxima que será determinada por la tasa de actualización del algoritmo SLAM, resultando en un rendimiento disminuido de control al hacerse crecientemente compleja la representación del entorno, lo que está en conflicto directo con características deseadas. Moore, D. y col.: "Simultaneous Global and Local State Estimation for Robotic Navigation", INT. CONF. ON ROBOTICS AND AUTOMATION, 31 de mayo de 2009, páginas 3794-3799, Kobe, Japón describen un sistema para estimación de estado con respecto a la navegación robótica que usa un marco local, un marco global y un tercer marco de referencia de coordenadas que permanece fijado al entorno local para escalas de tiempo cortas, pero que puede variar con respecto al marco global, siendo realizada una corrección de errores basándose en las diferencias entre los marcos locales y el marco global.

25 El impacto de la precisión y estabilidad de una estimación del rendimiento de un sistema general, por ejemplo, cuando se usa para controlar un vehículo, puede resumirse de acuerdo con los siguientes efectos:

1. Cualquier error en el sistema de detección, por ejemplo, detección de cualquier efecto observable, corresponderá a la adición de un error correspondiente al comportamiento de salida del sistema. Más generalmente, errores en el valor estimado, por ejemplo, cuando se usa la media de una distribución, aparecerán más directamente en los comportamientos del sistema, por ejemplo, un desplazamiento en un sensor de control de realimentación cause un desplazamiento en el valor controlado.
2. Si el subsistema de detección corrige su estimación actual (cuando la propiedad en sí misma no cambia o cambia lentamente con respecto a la tasa de actualización del controlador) entonces, esto aparece como un cambio brusco en la demanda al controlador de error (compensador en cascada). Más generalmente,

actualizaciones a la distribución, cuando son interpretadas por el sistema como la mejor estimación dada, pueden aparecer como cambios bruscos en esa estimación, incluso cuando la propiedad en sí misma no cambia o varía lentamente en comparación con la tasa de actualización de la estimación.

El primero de estos efectos es intuitivo y se reconoce habitualmente. El segundo, sin embargo, provoca un impacto mucho más sutil en el diseño de sistemas confiables. Tomemos, por ejemplo, un sistema de control que utiliza un filtro de Kalman para generar la cantidad estimada y que incorpora una observación que causa un cambio significativo en la media estimada del valor. Esto puede ocurrir si la distribución a priori tiene una varianza grande y una medida precisa ha quedado disponible, por ejemplo, señales de GPS han sido readquiridas en un sistema INS/GPS (INS del inglés "Inertial Navigation System", sistema de navegación inercial). Aunque el propio filtro interpreta consistentemente este cambio, un sistema corriente abajo (tal como un compensador en cascada) usa solo el valor medio (estimación) y verá el cambio brusco en valor aplicado a los términos de realimentación.

En términos del sistema de control, el efecto de un cambio brusco así sobre la medición es la aplicación de una etapa igual (de signo opuesto) a la entrada de error del controlador en cascada.

Las realizaciones de la presente invención están destinadas a abordar al menos algunos de los problemas anteriormente tratados. De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento para estimar una posición de un dispositivo (100) y de al menos un objetivo (204A, 204B) en un entorno, en el que el procedimiento incluye definir un marco de referencia de coordenadas globales, un marco de referencia de coordenadas locales estimadas, y un marco de referencia de coordenadas locales sin corrección en el cual la posición del dispositivo se supone sin error, y el procedimiento incluye además computar un vector de estado definido por:

un vector ($\mathbf{x}_v^g$) que representa una posición del dispositivo con respecto al origen del marco de referencia de coordenadas globales (g);

un vector ($\mathbf{x}_l^L$) que representa una posición estimada del al menos un objetivo con respecto al origen del marco de referencia de coordenadas locales sin corrección (L); y

una forma de estado de error ($\delta \mathbf{x}_v^L$) basada en una diferencia entre un origen de un marco de referencia de coordenadas locales estimadas y el origen del marco de referencia de coordenadas locales sin corrección (L);

caracterizado porque el origen del marco de referencia de coordenadas sin corrección está definido de tal forma que un vector que representa la posición del dispositivo en el marco de referencia de coordenadas sin corrección es igual a un vector que representa la posición estimada del dispositivo en el marco de referencia de coordenadas locales estimadas.

La posición del origen del marco de referencia de coordenadas locales estimadas con relación a un origen del marco de referencia de coordenadas globales puede ser conocida/estimada. Una posición del origen del marco de referencia de coordenadas locales sin corrección con relación al origen del marco de referencia de coordenadas locales estimadas puede ser conocida/estimada. El vector de estado computado puede resultar en el que los datos contenidos en el marco de referencia local sean robustos respecto a los efectos de correcciones globales, pero sigan siendo mantenidos consistentemente con respecto a esas correcciones.

La posición del dispositivo en el marco de referencia de coordenadas locales sin corrección puede ser formalmente independiente de cantidades estimadas usadas en la computación del vector de estado.

Si el origen del marco de referencia de coordenadas globales no es coincidente con el origen del marco de referencia de coordenadas locales estimadas, el vector de estado puede ser definido además mediante un vector que describe posiciones relativas de estos orígenes.

La computación de una estimación del vector de estado puede implementar un algoritmo de tipo SLAM. El algoritmo de tipo SLAM puede incluir un filtro de Kalman extendido.

De acuerdo con otro aspecto más de la presente invención, se proporciona un producto de programa informático que comprende un medio legible por ordenador, que lleva en él medios de código de programa informático, de modo que cuando el código de programa es cargado hace que el ordenador ejecute un procedimiento para estimar un estado de un dispositivo y de al menos un objetivo en un entorno (y un procedimiento para estimar una posición de un dispositivo con respecto a un marco de referencia de coordenadas globales) sustancialmente como se describe aquí.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato configurado para estimar una posición de un dispositivo (100) y de al menos un objetivo (206A, 206B) en un entorno, en el que el aparato incluye un dispositivo (102) configurado para definir un marco de referencia de coordenadas globales, un marco de referencia de coordenadas locales estimadas basándose en una posición del dispositivo, y un marco de referencia de coordenadas locales sin corrección en el cual la posición del dispositivo se supone sin error, configurado además para computar un vector de estado definido por:

un vector ($\mathbf{x}_v^g$) que representa una posición del dispositivo con respecto a un origen de un marco de referencia de coordenadas globales (g);

un vector ($\mathbf{x}_t^L$) que representa una posición estimada del al menos un objetivo con respecto a un origen de un marco de referencia de coordenadas locales sin corrección (L); y

- 5 una forma de estado de error ($\delta \mathbf{x}_v^L$) basada en una diferencia entre un origen de un marco de referencia de coordenadas locales estimadas y el origen del marco de referencia de coordenadas locales sin corrección (L);

10 caracterizado porque el origen del marco de referencia de coordenadas sin corrección está definido de tal forma que un vector que representa la posición del dispositivo en el marco de referencia de coordenadas sin corrección es igual a un vector que representa la posición del dispositivo en el marco de referencia de coordenadas locales estimadas.

El aparato puede incluir al menos un sensor que toma medidas con relación al dispositivo, por ejemplo, la distancia a un objetivo así. El sensor puede incluir un dispositivo de RADAR o LIDAR. El al menos un sensor y/o el dispositivo procesador estarán montados típicamente a bordo del dispositivo.

- 15 El aparato puede incluir, además, un dispositivo para recibir información con relación al marco de referencia de coordenadas globales, por ejemplo, un dispositivo configurado para recibir una señal de localización GPS.

De acuerdo con un aspecto alternativo de la presente invención, se proporciona un vehículo que incluye un aparato configurado para estimar una posición de un vehículo y de al menos un objetivo en un entorno sustancialmente como se describe en el presente documento.

- 20 De acuerdo con otro aspecto adicional de la presente invención, se proporciona un procedimiento para estimar un estado de un dispositivo y de al menos un objetivo en un entorno, incluyendo el procedimiento computar un vector de estado de un dispositivo y de al menos un objetivo que usa una forma de estado de error de una posición del dispositivo en un marco de referencia de coordenadas locales.

La invención puede realizarse de diversos modos, y, solo a modo de ejemplo, se describirán ahora realizaciones de ella, haciéndose referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

- 25 La figura 1 es un diagrama de bloques de un vehículo equipado con al menos un sensor a bordo; las figuras 2A y 2B ilustran esquemáticamente un vehículo que usa medidas globales y locales, respectivamente, en el contexto de control de movimiento basado en el camino; la figura 3 muestra una construcción que incluye un marco de referencia de coordenadas locales estimadas y un marco de referencia de coordenadas globales;
- 30 la figura 4 muestra una construcción que incluye un marco de referencia de coordenadas locales "sin error", y las figuras 5A y 5B son diagramas de flujo que muestran operaciones realizadas por un dispositivo de computación a bordo del vehículo con el fin de estimar las posiciones del vehículo y de al menos un objetivo.

- La figura 1 muestra un vehículo 100 que está equipado con un dispositivo de computación que incluye un procesador 102 y una memoria 104. El vehículo también incluirá otras características convencionales, por ejemplo, componentes de dirección y tracción, y puede estar al menos parcialmente automatizado, o puede incluir un sistema de planificación para ayudar a un operador humano. El vehículo incluirá también típicamente dispositivos de comunicaciones para comunicar con sistemas externos, incluyendo otros vehículos. Se apreciará que un vehículo es solo un ejemplo de un dispositivo que puede usarse para estimar la posición del al menos un objetivo en un entorno. En realizaciones alternativas, el dispositivo puede comprender una unidad de seguimiento manual con un dispositivo de visualización para indicar la posición del (de los) objetivo(S) a un usuario, o el dispositivo puede estar incorporado en otro tipo de mecanismo.
- 35
- 40

- El vehículo 100 está equipado, además, con al menos un sensor a bordo local. En el ejemplo, el vehículo tiene un primer sensor local y un segundo sensor local 106B. Los sensores locales están configurados para tomar medidas con relación al vehículo, típicamente para obtener información con respecto a obstáculos/objetos (que pueden ser estáticos o móviles) en las proximidades del vehículo. Tales obstáculos/objetos serán denominados aquí "objetivos" y un ejemplo se muestra esquemáticamente en 105, pero se entenderá que un objetivo no es necesariamente algo hacia lo que hay que disparar un arma. Ejemplos de sensores locales adecuados incluyen dispositivos de tipo RADAR o Liar y los sensores pueden producir información relacionada con la distancia y/o ángulo respecto a un objeto en el entorno, pero podrían producirse otros tipos de salida, por ejemplo, la velocidad estimada de un objeto móvil. Esta información es normalmente presentada con respecto a un sistema de coordenadas locales basado en la posición actual del vehículo.
- 45
- 50

- En el ejemplo, el segundo sensor local 106B puede estar configurado para tomar una medida relacionada con cómo se ha movido el vehículo con respecto a donde estaba previamente localizado, pero se entenderá que en algunos casos esta información puede ser medida por un dispositivo de sensor local único en combinación con objetos detectores en el entorno. La salida proporcionada por el sensor local 106B puede estar en la forma de velocidad y
- 55

velocidad angular, aceleración, etc. Alternativamente, el dispositivo de computación a bordo del vehículo 100 puede estar configurado para almacenar y procesar datos relativos a un modelo 107 que está destinado a estimar los mismos tipos de medidas que el segundo sensor local 106B anterior. Una persona experimentada tendrá familiaridad con procesos tales como modelos inerciales o de velocidad constante que pueden usarse para este propósito.

El vehículo 100 incluye además un dispositivo 108 para recibir información global. Un ejemplo típico de este tipo de información comprende GPS o Orán (del inglés "Hong Frange Ad to Navegación", ayuda de largo alcance a la navegación) que proporciona una estimación de la localización del vehículo 100 con respecto a un sistema de coordenadas globales, transmitida por un sistema externo 110.

La aproximación usada por las realizaciones aquí descritas puede aprovechar la sofisticación adicional que es puesta a disposición para tareas mediante separación de los movimientos de escala fina del dispositivo relativos a las características locales respecto a la incertidumbre de pose global. Por ejemplo, no es necesario considerar la localización global de un vehículo y de algunos postes de entrada cuando se navega a través de una abertura estrecha; antes bien, puede ser suficiente saber dónde están colocados los postes de entrada con respecto al vehículo. Las figuras 2A y 2B ilustran diferencias cualitativas entre las dos aproximaciones. En estas figuras, los obstáculos están situados fuera del plan global (es decir, atravesar la ruta no requerirá desviaciones reactivas respecto a ese camino), por ejemplo, la ruta planeada está libre de obstáculos inesperados tales como un coche aparcado en la calzada.

En la figura 2A, la incertidumbre en la localización del vehículo 100 está representada por la elipse negra sólida 202 y los objetivos 204A, 204B son detectados con las incertidumbres mostradas en elipses más borrosas/grises para su identificación, como un efecto local. La incertidumbre marginal resultante en la localización global de los obstáculos es mostrada por las dos elipses negras punteadas 206A, 206B. También se muestra la anchura w_c^g de corredor, la anchura efectiva w_e^g , y la anchura atravesable resultante w_t^g . La anchura efectiva es la anchura restante tras la aplicación de la incertidumbre global del vehículo a los bordes del corredor 208. En la figura 2B, sin embargo, la incertidumbre global no es proyectada sobre las localizaciones de los obstáculos de modo que mientras que la anchura de corredor efectiva se mantiene igual ($w_e^l = w_e^g$), la anchura atravesable w_t^l , aumenta fuertemente. En este caso, las elipses 206A' y 206B' representan las incertidumbres locales marginales. Para generalizar, 206A, 206B en las figuras 2A y 2B representan las incertidumbres marginales en el marco de referencia global en la figura 2A y local en la figura 2B.

En la figura 2A el control (o mapeo, planificación, etc.) es realizado en el espacio global con respecto a las incertidumbres marginales globales. El corredor define una anchura w_c^g y la trayectoria nominal se muestra como una línea punteada. La incertidumbre de pose (posición y orientación) global define la anchura de corredor efectiva w_e^g , como la región estrecha en la cual existe un camino global válido para la incertidumbre de pose actual. Es decir, incluso si la estimación del vehículo fuera "el peor caso" con respecto a esta incertidumbre, el vehículo se seguiría manteniendo dentro del corredor predefinido. Los dos objetivos 204A', 204B' y su incertidumbre en localización con respecto al vehículo (sobre la base de medidas locales que proporcionan la incertidumbre marginal local) se muestran mediante las dos elipses grises pequeñas 206A', 206B'. Las observaciones de obstáculos son mapeadas entonces al espacio global, resultando en las elipses punteadas, negras y más grandes 206A, 206B. Un controlador de vehículo es necesario para navegación de planificación a través de una abertura de anchura atravesable w_t^g , que es sustancialmente más estrecha que el corredor original.

En la figura 2B, el control es realizado en el espacio local. La anchura de corredor efectiva local w_e^l , es la misma que para el caso global. El conocimiento de la localización de los obstáculos con respecto al vehículo, sin embargo, es mejorado y son conocidas con la precisión de la información de sensores (nuevamente mostrada por elipses borrosas/grises 206A', 206B'); esto resulta en una mejoría clara en la anchura atravesable w_t^l .

En la figura 2A, las incertidumbres representadas son las proyecciones marginales de las localizaciones globales; esto debe ser conservador al usarse el marco global (y no el marco local donde se toman las diferencias). La figura 2B usa el marco local y así solo la incertidumbre relativa se mantiene para datos locales; los datos globales, sin embargo, requieren el que la posición global del vehículo sea restada de ella. Datos puramente globales (es decir, datos que no dependen de la posición actual del vehículo) no tendrán correlación con la posición del vehículo y la proyección marginal se usa exactamente de la misma manera que en la figura 2A. Si el mapa global ha estimado simultáneamente la posición del vehículo y la localización de objetos en el entorno, debería ser posible derivar el mapa local a partir de los datos globales.

En la construcción mostrada en la figura 3, se supone que el marco de referencia de coordenadas estimadas locales (l) está definido con relación al vehículo (pero no cualquier referencia externa), lo que representa un caso especial de marco de coordenadas locales genéricas en el que la posición del vehículo, así como de objetos en el entorno, están representadas con respecto a un sistema de coordenadas locales arbitrarias (locales en el sentido de que no

es necesaria información adicional para que el vehículo use los datos; esa información sería necesaria para comunicar los datos a otro dispositivo). La construcción representa las localizaciones del vehículo y del entorno ($\mathbf{x}_v^g$ y $\mathbf{x}_l^g$ respectivamente) en un marco de coordenadas locales (l) adicionalmente al marco global (g). También se muestra un marco de vehículo 300. Si son conocidas las dependencias estadísticas entre los datos en el marco local y los datos en el marco global (y equivalentemente entre los marcos local y de vehículo), es posible realizar mapeos entre las diferentes representaciones sin pérdida de información.

Como se ha indicado anteriormente, las correcciones de estimadores (tales como las que involucran sensores usados dentro de un sistema de control) pueden resultar en cambios bruscos aparentes en términos de error de dispositivos corriente abajo no estadísticos (por ejemplo, para control) y reducirán necesariamente la estabilidad y controlabilidad del sistema compuesto. Esto sugirió a los inventores presentes que aplicaciones sensibles a tales efectos deberían intentarse en un espacio que fuera "sin corrección". Puede demostrarse que el único modo en el que puede evitarse que una cantidad estimada sea actualizada tras una observación es haber impuesto dependencia nula con todas las cantidades observadas, tal como correlación cero en un filtro de Kalman. Si esto no es cierto, una actualización de cualquier cantidad dependiente resultará necesariamente en un impacto no nulo sobre la cantidad "sin corrección" y su valor cambiará.

Se desea que la posición local del vehículo $\mathbf{x}_v^l$, sea "sin corrección" de modo que las estimaciones en el marco local consigan las propiedades de continuidad deseadas. Si esto se hace, sin embargo, la construcción del vector dejaría de ser válida: $\mathbf{x}_v^l$ ya no correspondería a $\mathbf{x}_v^g - \mathbf{x}_l^g$. Independientemente de cómo se construye el estimador, usar este esquema para mantener la posición local sin corrección debe resultar en el que la posición local sea almacenada de una manera que no esté correlacionada con las posiciones globales y esta inconsistencia será el resultado.

La figura 4 muestra una construcción que está destinada a abordar la inconsistencia descrita anteriormente con referencia a la figura 3 al tiempo que se mantiene un espacio de control continuo útil (en el que las correcciones no ocurren) e ilustra el desarrollo de un marco local "sin corrección". Se supone primero que la posición del vehículo en el marco local es conocida perfectamente. Esta posición local "sin error" es denotada por $\mathbf{x}_v^L$ y está representada en la figura 4 por un contorno en línea discontinua 100' del vehículo. La construcción en línea continua en la figura 4 es la misma que la mostrada en la figura 3.

Como se ha indicado anteriormente, esta posición sin error será inconsistente con la posición local estimada, $\mathbf{x}_v^l$ y esta diferencia se denota mediante el término de error $\delta\mathbf{x}_v^L$. Así, puede verse que esta posición local verdadera (con relación al "marco local estimado") corresponde a la suma vectorial de esta cantidad sin error y un término de error apropiado, $\delta\mathbf{x}_v^L$, que da lugar al triángulo en línea discontinua superior 402 de la figura 4. El término de error (en vez de la estimación $\mathbf{x}_v^L$) puede ser mantenido junto con la posición en el marco local y la posición global y la suma vectorial que involucra estas cantidades y la posición sin error se mantendrán consistentes. Si el término de error es apropiadamente estimado junto con la posición local del vehículo, la posición global del marco local y la posición global del vehículo, la siguiente suma vectorial se mantendrá consistente:

$$\mathbf{x}_v^g = \mathbf{x}_l^g + \mathbf{x}_v^L + \delta\mathbf{x}_v^L$$

Esto implica que la localización sin error puede mantenerse sin corrección mientras que el esquema de estimación se mantiene consistente en el marco global. Una interpretación alternativa de la posición sin error será considerada ahora. El paralelogramo vectorial (el triángulo en línea discontinua inferior 404 de la figura 4) es construido con lados iguales a la posición sin error y al término de error de posición local. El vértice inferior 406 define el origen del marco local sin corrección (L) en el cual la posición del vehículo no tiene error, $\mathbf{x}_v^L$. El paralelogramo vectorial (líneas discontinuas) es construido de tal modo que la posición "sin corrección" corresponde ahora a la posición real del vehículo, mientras que la posición del marco de referencia local en el marco global tiene un error $\delta\mathbf{x}_l^L$ igual al término de error de posición local en el triángulo superior 402. Con el fin de mantener la consistencia de una ecuación análoga a la anterior, el último lado del paralelogramo debería reconocerse como el error de la localización del marco local sin corrección (L) en el marco local estimado (l); por definición, esto será equivalente al término de error de posición en el marco local estimado, $\delta\mathbf{x}_l^L = \delta\mathbf{x}_v^L$.

Un análogo unidimensional de la construcción anteriormente descrita será considerado a continuación usando el problema SLAM global ("SLAM tradicional"), seguido luego por el uso del marco local sin corrección.

En el modelo SLAM global el vector de estado estará definido por:

$$\mathbf{x} = [\mathbf{x}_v^g \quad \mathbf{x}_l^g]^T \quad (1)$$

Supóngase un modelo dinámico simple en el que las ecuaciones de actualización para el sistema están dadas por:

$$\mathbf{x}_{k|k-1} = \mathbf{F}\mathbf{x}_{k-1|k-1} + \mathbf{G}\mathbf{u}_k \quad (2)$$

$$\mathbf{P}_{k|k-1} = \mathbf{F}\mathbf{P}_{k-1|k-1}\mathbf{F}^T + \mathbf{G}\mathbf{Q}_k\mathbf{G}^T \quad (3)$$

$$\mathbf{x}_{k|k} = \mathbf{x}_{k|k-1} + \mathbf{W}_k(\mathbf{z}_k - \mathbf{H}\mathbf{x}_{k|k-1}) \quad (4)$$

donde la ganancia de Kalman ($\mathbf{W}_k$) está dada por $\mathbf{W}_k = \mathbf{P}_{k|k-1} \nabla \mathbf{h}^T \mathbf{S}_k^{-1}$, y usando los siguientes modelos:

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{u}_k = u_k, \mathbf{Q}_k = q_k \quad (7)$$

$$\mathbf{H} = [-1 \quad 1] \quad (8)$$

$$\mathbf{z}_k = z_k, \mathbf{R}_k = r_k \quad (9)$$

- 10 La matriz de covarianza inicial para este ejemplo es derivada de la definición de la posición del objetivo $\mathbf{x}_t^g = \mathbf{x}_v^g + \mathbf{x}_t^v$, y si la incertidumbre inicial del vehículo es P_{vv} y el error de medida está dado por r_k , entonces la covarianza está dada por el modelo SLAM ("Simultaneous Localization and Mapping: Part II", IEEE Robotics and Automation Magazine, Septiembre de 2006, pp. 108-117, Ecuación 7) como

$$\mathbf{P}_0 = \begin{bmatrix} P_{vv} & P_{vv} \\ P_{vv} & P_{vv} + r_k \end{bmatrix} \quad (10)$$

- 15 En el modelo SLAM de marco local sin corrección, el vector de estado estará definido por:

$$\mathbf{x} = [\mathbf{x}_v^g \quad \mathbf{x}_t^g \quad \delta \mathbf{x}_v^L \quad \mathbf{x}_t^L]^T \quad (11)$$

donde la posición sin corrección no es parte del esquema de estimación ya que se considera de forma determinista. Supóngase un modelo dinámico simple en el que las ecuaciones de actualización para el sistema están dadas por las ecuaciones (2) – (4) anteriores. Se usan los siguientes modelos:

$$\mathbf{F} = \mathbf{I}_4 \quad (12)$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}^T \quad (13)$$

$$\mathbf{u}_k = \begin{bmatrix} u_k \\ \delta u_k \end{bmatrix}, \mathbf{Q}_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & q_k \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\mathbf{H} = [-1 \quad 1 \quad 1 \quad 1] \quad (15)$$

$$\mathbf{z}_k = z_k, \mathbf{R}_k = r_k \quad (16)$$

- 25 donde: $\mathbf{I}_4$ es la matriz unidad [4x4]; el vector $\mathbf{u}_k$ tiene componentes u_k y δu_k correspondientes a la entrada verdadera del modelo y al error, respectivamente; y la observación se hace de la localización del objetivo en el marco local sin error.

En este caso, la matriz de covarianza inicial es construida usando las dos relaciones: $\mathbf{x}_t^g = \mathbf{x}_v^g + \mathbf{x}_t^L$ donde la incertidumbre local inicial es $P_{ll} = 0$ (el marco está situado de forma determinista con respecto a la posición actual del vehículo) y la incertidumbre global del vehículo es P_{gg} ; y $\mathbf{x}_t^L = \mathbf{x}_v^L + \mathbf{x}_t^v$, con la posición sin error conocida exactamente

y el error de medida dado por r_k . La covarianza resultante es,

$$\mathbf{P}_0 = \begin{bmatrix} P_{gg} & P_{gg} & 0 & 0 \\ P_{gg} & P_{gg} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_k \end{bmatrix} \quad (17)$$

Obsérvese que la construcción SLAM global puede derivarse de la versión local sin error usando el siguiente mecanismo de "observación":

$$\mathbf{x}_{\text{global}} = \mathbf{H}_{\text{global}} \mathbf{x}_{\text{local}} \quad (18)$$

$$\mathbf{P}_{\text{global}} = \mathbf{H}_{\text{global}} \mathbf{P}_{\text{local}} \mathbf{H}_{\text{global}}^T \quad (19)$$

$$\mathbf{H}_{\text{global}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

que puede verificarse fácilmente usando la figura 4.

La observación de la posición global del vehículo puede incorporarse fácilmente en este modelo usando el mecanismo de observación:

$$\mathbf{z}_v^g = \mathbf{H}_v^g \mathbf{x} \quad (21)$$

$$\mathbf{P}_v^g = (\mathbf{H}_v^g) \mathbf{P} (\mathbf{H}_v^g)^T \quad (22)$$

$$\mathbf{H}_v^g = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

Las figuras 5A y 5B ilustran pasos realizados por el dispositivo de computación a bordo del vehículo 100 con el fin de implementar los cálculos anteriormente descritos para generar información de estado, que puede incluir una indicación de la localización (por ejemplo, coordenadas X, Y con respecto al sistema de coordenadas globales, aunque podrían generarse otros tipos de información posicional) del vehículo, así como de uno o varios objetivos en el entorno. El cálculo general puede ser dividido en una parte sin corrección (que involucra una computación de la posición del vehículo/objetivo(s) con respecto al marco local que se supone sin error) y una parte estimada. En algunas realizaciones, puede usarse más de un procesador para realizar las computaciones. Es también posible que al menos parte de la computación sea realizada remotamente, siendo retransmitido el resultado a un procesador a bordo del vehículo para procesamiento adicional, por ejemplo, implementación de una maniobra de vehículo.

La figura 5A muestra pasos realizados en conexión con la parte sin error del proceso. En la etapa 502A se obtienen datos que representan el valor inicial/previo del estado. Aquí, se considera que el estado está en la posición sin error del vehículo y del (de los) objetivos con respecto al sistema de coordenadas de marco local sin corrección debido a que está basado en una medida de las posiciones del vehículo/objetivo(s) que se suponen correctas. En la etapa 504A, los datos son usados por un proceso de predicción, por ejemplo, una etapa de predicción a partir de un filtro de Kalman (alternativamente, podría usarse un filtro de Kalman extendido, filtro de partículas o filtro de Bayes), en la mayoría de los casos junto con una medida tomada por al menos un sensor local (por ejemplo, 106A, 106B) instalado en el vehículo y el modelo de predicción 107. Alternativamente, la información puede obtenerse a partir de un sensor global, por ejemplo 108. La medida comprende típicamente una indicación de la posición del vehículo/objetivo(s) en términos del sistema de coordenadas locales y, nuevamente, se considera sin error. En la etapa 506A se obtienen datos que representan la salida de estado actual de la etapa 504A y el control vuelve a la etapa 502A, en el que el estado actual reemplaza el estado previo. Los valores involucrados en el proceso de la figura 5A tienen incertidumbre, pero el proceso no sigue/trata esta incertidumbre; en vez de ello, esto es hecho por el proceso de la figura 5B.

Yendo a la figura 5B, en la etapa 502B se obtienen datos que representan el estado inicial/actual. Aquí, el estado es una estimación de la posición del vehículo con respecto al sistema de coordenadas de marco global e incluirá un elemento de incertidumbre. En la etapa 504B, esos datos son usados en un proceso de predicción, por ejemplo, la etapa de predicción de un filtro de Kalman, junto con una medida tomada por al menos un sensor local (por ejemplo, 106A, 106B, que pueden incluir una unidad inercial o similar) y el modelo de predicción 107. Alternativamente, la información puede obtenerse a partir de un sensor global, por ejemplo, el sensor 108. En la etapa 506B se obtienen datos que representan la salida de estado actual de la etapa 504B y el control puede volver a la etapa 502B, en el que el estado actual reemplaza el estado previo.

- 5 La etapa 508B muestra un proceso de actualización que usa una medida recibida a través del dispositivo 108 para recibir información global y el modelo de predicción 107. Alternativamente, la información puede obtenerse a partir de al menos un sensor de obtención de datos locales, por ejemplo, el sensor 106A o 106B, que puede incluir un escáner láser o similar. Esto puede tener lugar siguiendo un ciclo de predicción de la etapa 506B (antes de que el control vuelva a la etapa 502B), como se ilustra mediante la flecha 505, o de forma asíncrona como se ilustra mediante la flecha 505'. En la etapa 510B se obtiene un valor actualizado y el control vuelve a la etapa 502B, en la que el estado actualizado reemplaza el estado previo.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para estimar una posición de un dispositivo (100) y de al menos un objetivo (204A, 204B) en un entorno, incluyendo el procedimiento definir un marco de referencia de coordenadas globales, un marco de referencia de coordenadas locales estimadas, y un marco de referencia de coordenadas locales sin corrección en el cual la posición del dispositivo se supone sin error, e incluyendo el procedimiento, además, computar un vector de estado definido por:
un vector ($\mathbf{x}_v^g$) que representa una posición del dispositivo con respecto al origen del marco de referencia de coordenadas globales (g);
un vector ($\mathbf{x}_l^t$) que representa una posición estimada del al menos un objetivo con respecto al origen del marco de referencia de coordenadas locales sin corrección (L); y
una forma de estado de error ($\delta \mathbf{x}_v^t$) basada en una diferencia entre el origen del marco de referencia de coordenadas locales estimadas y el origen del marco de referencia de coordenadas locales sin corrección (L);
caracterizado porque
el origen del marco de referencia de coordenadas sin corrección está definido de tal forma que un vector que representa la posición del dispositivo en el marco de referencia de coordenadas sin corrección es igual a un vector que representa la posición estimada del dispositivo en el marco de referencia de coordenadas locales estimadas.
2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la posición del dispositivo (100) en el marco de referencia de coordenadas locales sin corrección (L) es formalmente independiente de cantidades estimadas usadas en la computación del vector de estado.
3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que si el origen del marco de referencia de coordenadas globales (g) no es coincidente con el origen del marco de referencia de coordenadas locales estimadas (l), entonces el vector de estado puede ser definido además mediante un vector ($\mathbf{x}_l^g$) que describe posiciones relativas de estos orígenes.
4. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la computación implementa un algoritmo de tipo SLAM.
5. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el dispositivo (100) comprende un primer sensor a bordo (106A) configurado para tomar medidas relacionadas con dicho objetivo en una zona próxima al dispositivo (100); y en el que el procedimiento comprende, además, la etapa de recibir información desde el primer sensor a bordo y usar la información recibida para determinar un vector que representa una posición de dicho objetivo en el marco de referencia de coordenadas locales sin corrección.
6. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el dispositivo (100) comprende, además, un segundo sensor a bordo configurado para tomar medidas relacionadas con cómo se ha movido el dispositivo con respecto a una localización previa del dispositivo; y en el que el procedimiento comprende además la etapa de recibir información desde el segundo sensor a bordo y usar la información recibida de forma determinista para calcular una posición del dispositivo en el marco de referencia de coordenadas locales sin corrección.
7. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 que comprende, además, la etapa de recibir, a través de medios a bordo del dispositivo, información relativa al marco de referencia de coordenadas globales.
8. Un producto de programa informático que comprende un medio legible por ordenador, que lleva en él medios de código de programa informático, de modo que, cuando el código de programa es cargado, hace que el ordenador ejecute un procedimiento para estimar un estado de un dispositivo y de al menos un objetivo en un entorno de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
9. Aparato configurado para estimar una posición de un dispositivo (100) y de al menos un objetivo (206A, 206B) en un entorno, en el que el aparato incluye un dispositivo (102) configurado para definir un marco de referencia de coordenadas globales, un marco de referencia de coordenadas locales estimadas, y un marco de referencia de coordenadas locales sin corrección en el cual la posición del dispositivo se supone sin error, configurado, además, para computar un vector de estado definido por:
un vector ($\mathbf{x}_v^g$) que representa una posición del dispositivo con respecto al origen del marco de referencia de coordenadas globales (g);
un vector ($\mathbf{x}_l^t$) que representa una posición estimada del al menos un objetivo con respecto al origen del marco de referencia de coordenadas locales sin corrección (L); y
una forma de estado de error ($\delta \mathbf{x}_v^t$) basada en una diferencia entre el origen del marco de referencia de coordenadas locales estimadas y el origen del marco de referencia de coordenadas locales sin corrección

(L);

caracterizado porque

5 el origen del marco de referencia de coordenadas sin corrección está definido de tal forma que un vector que representa la posición del dispositivo en el marco de referencia de coordenadas sin corrección es igual a un vector que representa la posición estimada del dispositivo en el marco de referencia de coordenadas locales estimadas.

10. Aparato de acuerdo con la reivindicación 9, que incluye al menos un sensor (106A, 106B) para tomar medidas con relación a dicho objetivo en una zona próxima al dispositivo (100).

10 11. Aparato de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el al menos un sensor (106A, 106B) está montado a bordo del dispositivo (100).

12. Aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, que incluye, además, un dispositivo (108) para recibir información con relación al marco de referencia de coordenadas globales.

13. Aparato de acuerdo con la reivindicación 12, en el que el dispositivo (108) para recibir información global está configurado para recibir una señal de localización GPS.

15 14. Un vehículo (100) que incluye un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13.

Fig.1.

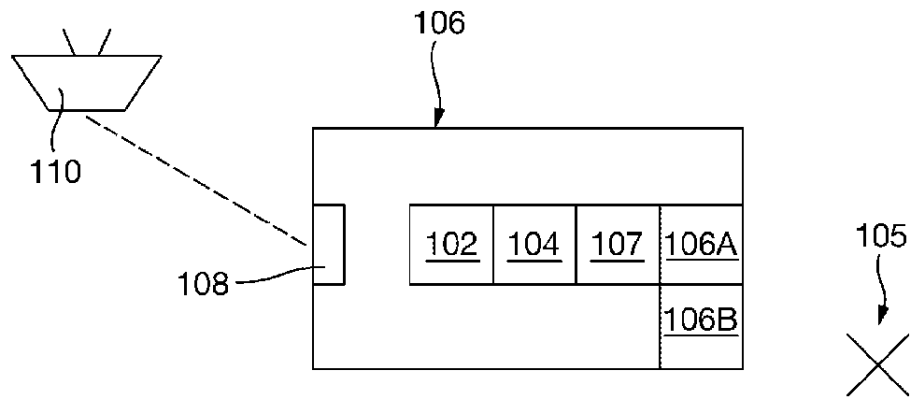


Fig.2A.

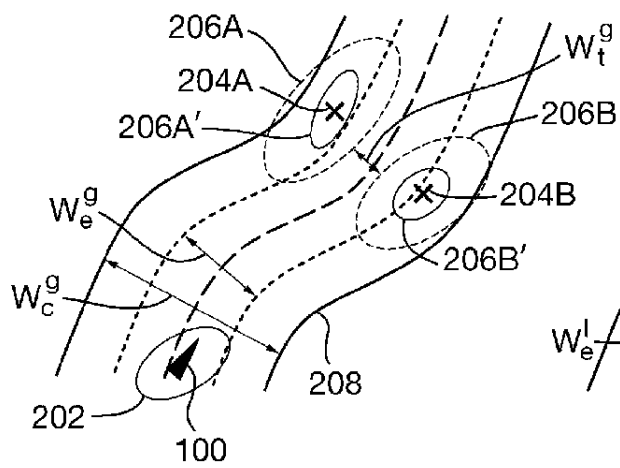
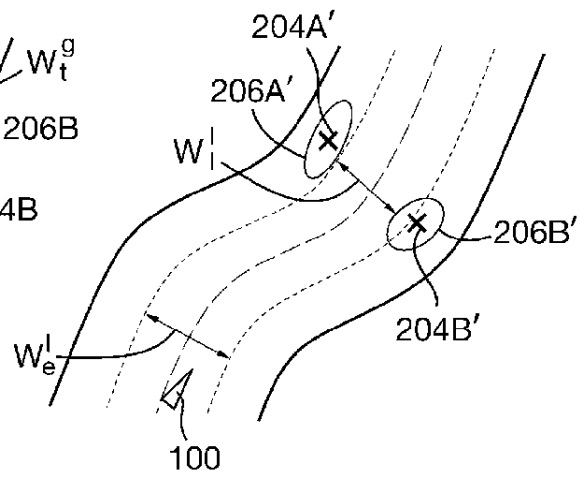


Fig.2B.



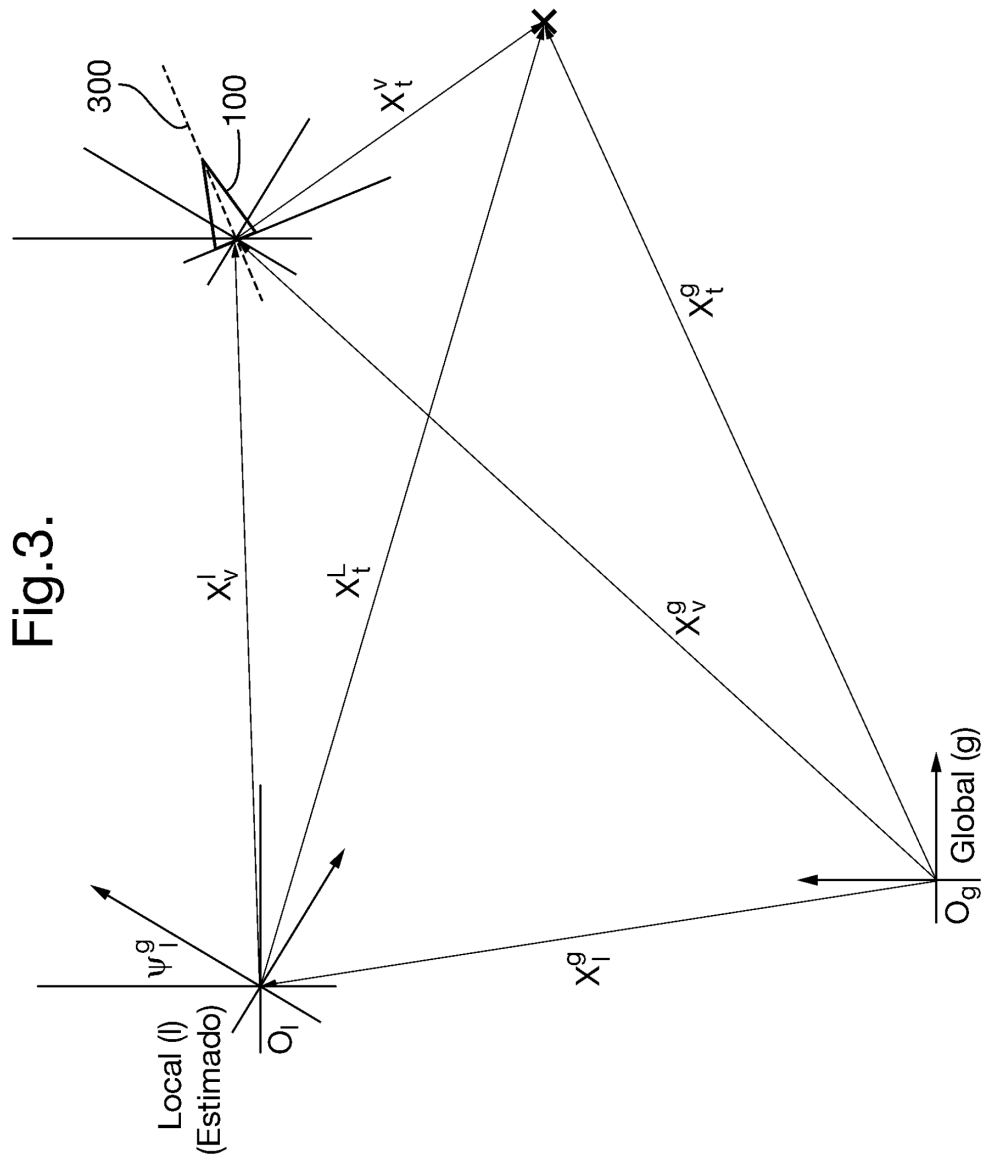


Fig.3.

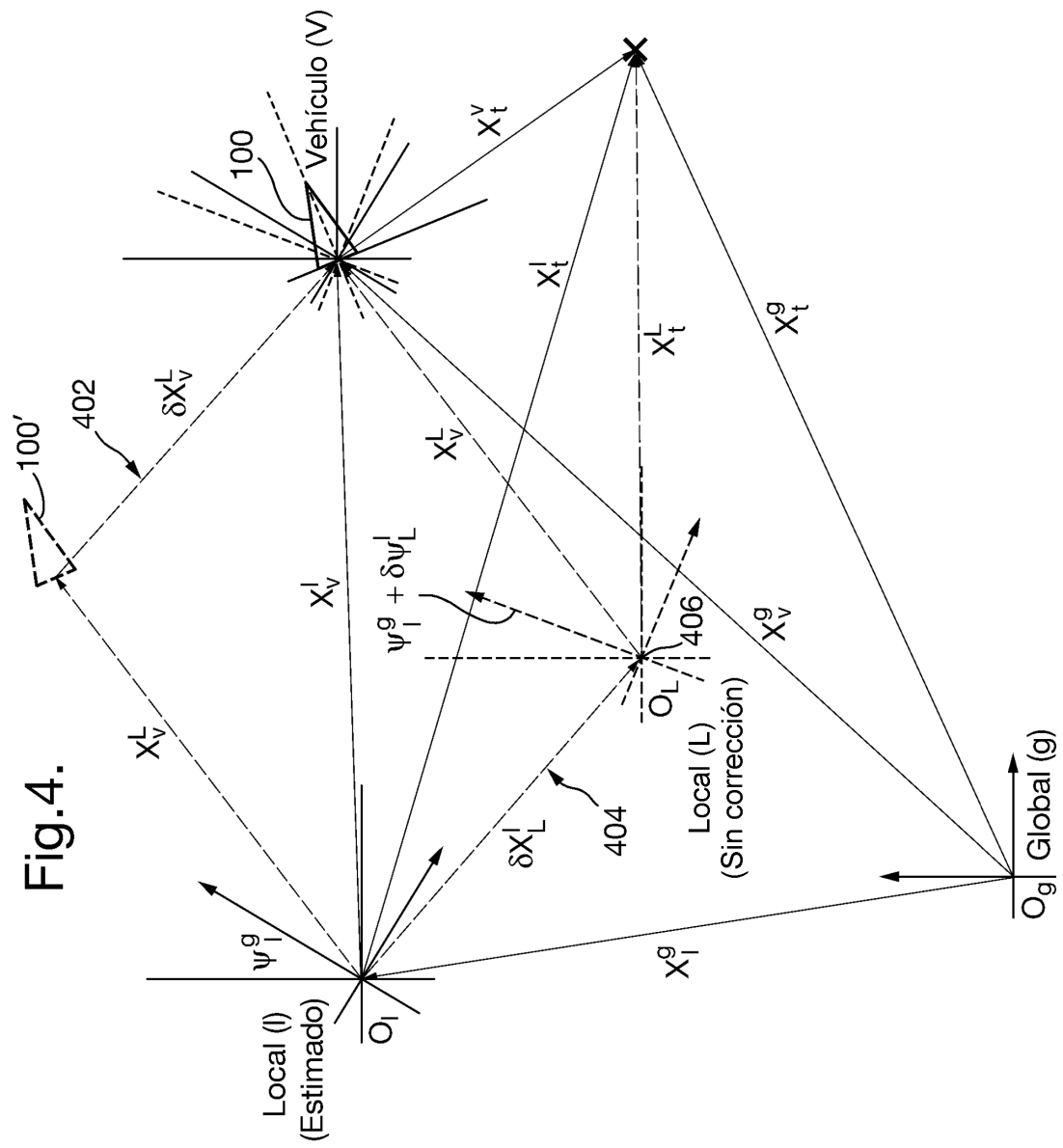


Fig.5A.

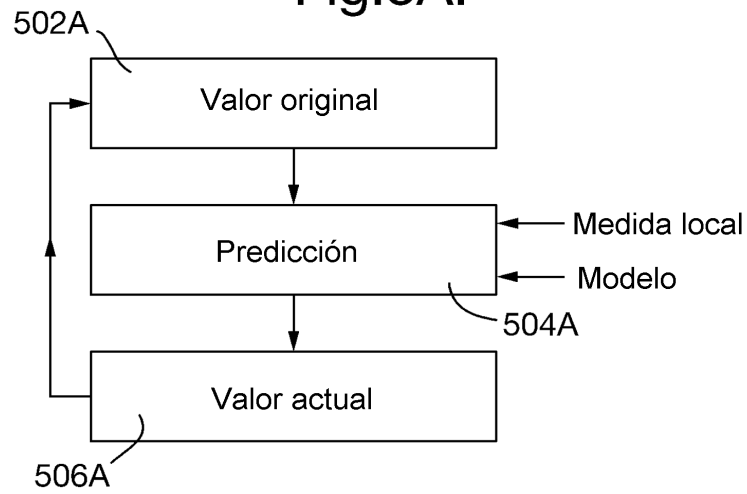


Fig.5B.

