



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 366 740**

51 Int. Cl.:
G01R 33/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07004666 .9**

96 Fecha de presentación : **07.03.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **1832889**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **12.09.2007**

54 Título: **Dispositivo de procesamiento de datos magnéticos.**

30 Prioridad: **07.03.2006 JP 2006-61605**
10.05.2006 JP 2006-132026
26.01.2007 JP 2007-16320

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
25.10.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
25.10.2011

73 Titular/es: **YAMAHA CORPORATION**
10-1 Nakazawa-cho
Naka-ku, Hamamatsu-shi, Shizuoka-ken, JP

72 Inventor/es: **Handa, Ibuki**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 366 740 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

Dispositivo de procesamiento de datos magnéticos

Antecedentes de la invención**Campo técnico de la invención**

- 5 La presente invención se refiere a un dispositivo de procesamiento de datos magnéticos, a un procedimiento de procesamiento de datos magnéticos, y a un programa de procesamiento de datos magnéticos, y más particularmente a una tecnología para corregir el desplazamiento de los sensores magnéticos bidimensionales y tridimensionales.

Descripción de la técnica relacionada

- 10 Un sensor magnético convencional montado en un cuerpo en movimiento tal como un teléfono móvil o un vehículo detecta la dirección del geomagnetismo o campo magnético de la Tierra. El sensor magnético incluye un conjunto de módulos de sensor magnético para detectar unas componentes escalares del vector de campo magnético en unas direcciones ortogonales entre sí. Los datos magnéticos que se emiten como salida a partir del sensor magnético consisten en una combinación de salidas de los módulos de sensor magnético, y de este modo los datos magnéticos
- 15 son unos datos de vector que son una combinación lineal de unos vectores unitarios ortogonales entre sí (los vectores fundamentales). La dirección y la magnitud de los datos magnéticos se corresponden con la dirección y la magnitud de un campo magnético detectado por el sensor magnético. Al especificar la dirección o la magnitud del campo magnético de la Tierra basándose en las salidas del sensor magnético, es necesario realizar un proceso para corregir las salidas del sensor magnético con el fin de anular unos errores de medición provocados por la magnetización del cuerpo en movimiento o las características de temperatura intrínsecas del sensor magnético. Se hace referencia a un valor de control de este proceso de corrección como una compensación y se hace referencia a un proceso para deducir la compensación como calibración (véase, por ejemplo, la publicación de patente internacional n.º 2004 – 003476). La compensación es también unos datos de vector y se define como unos datos magnéticos que se emiten como salida a partir del sensor magnético cuando la intensidad de los campos magnéticos externos es cero. Tales errores de medición se anulan restando la compensación respecto de los datos magnéticos que se emiten como salida a partir del sensor magnético. En un sensor magnético bidimensional (de 2D), la compensación se corresponde con un vector de posición del centro de un círculo en el que se distribuye un conjunto de datos magnéticos. No obstante, en la práctica, la distribución de un conjunto de datos magnéticos que se emite como salida a partir del sensor magnético de 2D no forma un círculo perfecto. Los motivos son que las salidas de los módulos de sensor magnético tienen de forma intrínseca unos errores de medición que siguen una distribución gaussiana, un campo magnético medido por el sensor magnético de 2D varía durante un periodo en el que un conjunto de datos de la población estadística se almacena para calcular la compensación debido a que en la práctica no hay un campo magnético completamente uniforme, y se producen errores de cálculo durante la conversión AD.
- 25 El sensor magnético de 2D emite como salida un conjunto de datos de la población estadística que se precisa para deducir la compensación mientras que un cuerpo en movimiento que incluye el sensor magnético de 2D montado en el mismo gira de tal forma que el sensor magnético de 2D gira alrededor de un eje de giro paralelo a la dirección perpendicular a unas direcciones de detección ortogonales de sus módulos de sensor magnético. Para que se mueva de esta forma un cuerpo en movimiento tal como un teléfono móvil o un vehículo que puede moverse de forma tridimensional, es necesario que el usuario opere intencionadamente el cuerpo en movimiento de modo que se mueva de tal forma. Por consiguiente, un algoritmo de deducción de compensación para un dispositivo de procesamiento de datos magnéticos para deducir la compensación de un sensor magnético de 2D se diseña con la suposición de que se ha informado al usuario explícitamente del inicio de la calibración y de que el usuario opera el cuerpo en movimiento adecuadamente. No obstante, es problemático y complicado para el usuario realizar la operación de calibración. En el procedimiento de calibración convencional, se determina, a través de una decisión binaria, si se ha almacenado o no un conjunto de datos fiable de la población estadística, y, cuando el usuario no ha realizado correctamente la operación de calibración, la calibración falla sin almacenar un conjunto de datos fiable de la población estadística. Esto requiere que el usuario repita la operación de almacenar un conjunto de datos fiable de la población estadística.
- 35 Un sensor magnético de tres dimensiones (de 3D) convencional montado en un cuerpo en movimiento tal como un teléfono móvil o un vehículo detecta la dirección del campo magnético de la Tierra. El sensor magnético de 3D generalmente incluye 3 módulos de sensor magnético para detectar unas componentes escalares del vector de campo magnético en 3 direcciones ortogonales. Los datos magnéticos que se emiten como salida a partir del sensor magnético de 3D consisten en una combinación de salidas de los 3 módulos de sensor magnético, y de este modo los datos magnéticos son unos datos de vector de 3D que son una combinación lineal de unos vectores unitarios ortogonales entre sí (vectores fundamentales). La dirección y la magnitud de los datos magnéticos se corresponden con la dirección y la magnitud de un campo magnético detectado por el sensor magnético de 3D. Al especificar la dirección o la magnitud del campo magnético de la Tierra basándose en las salidas del sensor magnético de 3D, es necesario realizar un proceso para corregir las salidas del sensor magnético de 3D con el fin de anular unos errores de medición provocados por la magnetización del cuerpo en movimiento o las características de temperatura
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60

intrínsecas del sensor magnético. Se hace referencia a un valor de control de este proceso de corrección como una compensación. Siendo la compensación unos datos de vector que indican un campo magnético provocado por las componentes de magnetización del cuerpo en movimiento detectado por el sensor magnético de 3D. Tales errores de medición se anulan restando la compensación respecto de los datos magnéticos que se emiten como salida a partir del sensor magnético de 3D. Es posible calcular la compensación obteniendo el centro de una superficie esférica sobre la que se distribuye un conjunto de datos magnéticos.

No obstante, en la práctica, la distribución de datos magnéticos no forma una esfera perfecta. Los motivos son que las salidas del sensor magnético de 3D tienen de forma intrínseca unos errores de medición que siguen una distribución gaussiana, un campo magnético medido por el sensor magnético de 3D varía durante un periodo en el que unos datos magnéticos que se requieren para calcular la compensación se almacenan debido a que en la práctica no hay un campo magnético completamente uniforme, y se producen errores de cálculo hasta que se obtienen unos valores digitales a partir de las salidas del sensor magnético de 3D.

Un procedimiento convencional para deducir una compensación de sensor magnético almacena un gran número de datos magnéticos y deduce la compensación a través de un proceso estadístico de los datos magnéticos almacenados. De este modo, en el procedimiento convencional, un conjunto de datos magnéticos que se precisa para actualizar de forma precisa la compensación no se ha almacenado a menos que el usuario intencionadamente cambie la actitud o la postura del cuerpo en movimiento, y se precisa un tiempo prolongado para actualizar la compensación después de que se produzca la necesidad de actualizar la compensación. Habitualmente, se almacenan unos datos magnéticos distribuidos sólo en dos dimensiones debido a que es raro que se dé un cambio tridimensional significativo en la actitud del sensor magnético montado en el vehículo. De este modo, es poco deseable esperar hasta que un conjunto de datos magnéticos distribuidos uniformemente en una superficie esférica se almacena con el fin de actualizar de forma precisa la compensación del sensor magnético montado en el vehículo.

El documento WO 2005/061990 A1 ha dado a conocer un algoritmo que puede corregir la compensación incluso aunque la distribución de un conjunto de datos magnéticos sea bidimensional. No obstante, no es sencillo implementar un programa de acuerdo con el algoritmo que se describe en el documento WO 2005/061990 A1 debido a que éste es complicado.

El documento US 2005/126023 A1 da a conocer un procedimiento y aparato para usar un campo magnético. El procedimiento incluye: medir y almacenar unos datos de campo magnético que indican unas magnitudes de un campo magnético en direcciones diferentes cada vez haciendo girar unos sensores por un espacio; y comprobar si existe una perturbación del campo magnético, usando unos parámetros de ajuste de curva tales como la amplitud y la compensación de al menos una de las trayectorias de campo magnético formadas por los datos de campo magnético almacenados.

El documento US 2005/256673 A1 da a conocer un dispositivo de medición de azimut que puede calibrar un sensor magnético sin que una parte del trabajo recaiga en el usuario. Cuando un punto que tiene unos valores de salida amplificados S_x , S_y , S_z después de una corrección de sensibilidad como componentes x , y , z se dispone en un sistema de coordenadas xyz , una sección de cálculo de información de compensación calcula las coordenadas del centro de una esfera de este tipo cuya superficie se encuentra en las proximidades de cada punto y calcula una componente x de las coordenadas del centro de esta esfera como la compensación C_x actual de un elemento HEX de efecto Hall del eje x , una componente y de las coordenadas del centro de esta esfera como la compensación C_y actual de un elemento HEY de efecto Hall del eje y , y una componente z de las coordenadas del centro de esta esfera como la compensación C_z actual de un elemento HEZ de efecto Hall del eje z . Es posible de este modo calibrar el sensor magnético sin que una parte del trabajo recaiga en el usuario.

Sumario de la invención

Es un objeto de la presente invención mejorar la facilidad de uso de un sensor magnético tridimensional (de 3D). Es otro objeto de la presente invención proporcionar un dispositivo de procesamiento de datos magnéticos, un procedimiento de procesamiento de datos magnéticos, y un programa de procesamiento de datos magnéticos, y un aparato de medición magnética, que puedan corregir una compensación usando un conjunto de datos magnéticos almacenado a través de un proceso sencillo, con independencia de la distribución del conjunto de datos de la población estadística.

En un primer aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo de procesamiento de datos magnéticos para llevar a cabo los objetivos anteriores tal como se expone en la reivindicación 1. También se proporcionan un aparato de medición magnética tal como se expone en la reivindicación 8, un procedimiento de procesamiento de datos magnéticos tal como se expone en la reivindicación 9, y un programa de procesamiento de datos magnéticos tal como se expone en la reivindicación 10. Las realizaciones preferentes de la presente invención pueden deducirse a partir de las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama esquemático de las realizaciones del primer aspecto de la presente invención.
La figura 2 es un diagrama esquemático de las realizaciones del primer aspecto de la presente invención.

La figura 3 es un diagrama de bloques de las realizaciones del primer aspecto de la presente invención.

La figura 4 es un diagrama de bloques de las realizaciones del primer aspecto de la presente invención.

La figura 5 es un diagrama de flujo de la primera realización del primer aspecto de la presente invención.

5 La figura 6 es un diagrama esquemático de la primera realización del primer aspecto de la presente invención.

La figura 7 es un diagrama esquemático de la primera realización del primer aspecto de la presente invención.

La figura 8 es un diagrama de flujo de la segunda realización del primer aspecto de la presente invención.

La figura 9 es una gráfica asociada con la segunda realización del primer aspecto de la presente invención.

10 La figura 10 es una gráfica asociada con la segunda realización del primer aspecto de la presente invención.

La figura 11 es un diagrama esquemático de las realizaciones del segundo aspecto de la presente invención.

15 La figura 12 es un diagrama esquemático de las realizaciones del segundo aspecto de la presente invención.

La figura 13 es un diagrama de bloques de las realizaciones del segundo aspecto de la presente invención.

La figura 14 es un diagrama de bloques de las realizaciones del segundo aspecto de la presente invención.

La figura 15 es un diagrama de flujo de la primera realización del segundo aspecto de la presente invención.

20 La figura 16 es un diagrama esquemático de la primera realización del segundo aspecto de la presente invención.

La figura 17 es un diagrama esquemático de la primera realización del segundo aspecto de la presente invención.

25 La figura 18 es un diagrama de flujo de la segunda realización del segundo aspecto de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

Un principio y algoritmo que se usa en el primer aspecto de la invención se describe a continuación en detalle con referencia a la figura 1. Los puntos clave de este algoritmo son que se estima que un conjunto de datos magnéticos distribuidos en una dirección de eje principal con una dispersión más grande son unos elementos más significativos de la población estadística para su uso en la actualización de la compensación, y que se estima que un conjunto de datos magnéticos distribuidos en una dirección de eje principal con una dispersión más pequeña son unos elementos menos significativos de la población estadística para su uso en la actualización de la compensación. Cada una de la compensación c_0 antigua, la compensación c nueva, y la compensación temporal, que se corresponde con un vector de posición del punto de extremo de "g" en relación con el punto de origen "0", son unos datos de vector de posición de 2D que son una combinación lineal de un conjunto de vectores fundamentales de los datos magnéticos. Es decir, cada una de las compensaciones son unos datos de vector representados en el sistema de coordenadas xy. La compensación c nueva se deduce basándose en la compensación c_0 antigua y en un conjunto de datos magnéticos que se almacena para actualizar la compensación c_0 antigua con la compensación c nueva.

40 El conjunto de datos de la población estadística, que es un conjunto de datos magnéticos almacenados para actualizar la compensación antigua con la compensación c nueva, puede incluir un conjunto de datos magnéticos que se han almacenado en un periodo de tiempo predeterminado y puede incluir un conjunto de datos magnéticos que incluye un número predeterminado de datos magnéticos y puede también incluir un conjunto de datos magnéticos que incluye cualquier número de datos magnéticos que se han almacenado en un instante determinado (por ejemplo, en el instante en el que se hace una solicitud de actualización de compensación). La compensación c_0 antigua puede deducirse usando el mismo procedimiento que la compensación c nueva y puede también determinarse previamente.

Aunque se define que la compensación temporal va a deducirse a partir del conjunto de datos de la población estadística sin el uso de la compensación c_0 antigua, esta definición se introduce para definir la condición de restricción con la que se deduce la compensación c nueva y la compensación temporal no es realmente unos datos que deban deducirse. Si la compensación temporal se deduce realmente a partir del conjunto de datos de la población estadística sin el uso de la compensación c_0 antigua, la compensación temporal es un vector de posición del centro de una circunferencia cerca de la que se distribuye el conjunto de datos de la población estadística. No obstante, si el conjunto de datos de la población estadística está distribuido de manera no uniforme cerca de un arco de ángulo central estrecho que es una parte de la circunferencia que se deduce a partir del conjunto de datos de la población estadística, un error incluido en cada elemento del conjunto de datos de la población estadística afecta en gran medida al resultado de deducción de la circunferencia y de este modo hay una posibilidad de que se deduzca una compensación temporal distante de la compensación verdadera. Por ejemplo, considérese que un conjunto de datos de la población estadística está distribuido de manera no uniforme cerca de un arco de ángulo central estrecho y que los vectores propios ortogonales entre sí del conjunto de datos de la población estadística son u_1 y u_2 tal como se muestra en la figura 1. En este caso, debido a que la varianza del conjunto de datos de la población estadística es pequeña en la dirección del vector u_2 propio de la distribución que se corresponde con el valor principal más pequeño, hay una alta probabilidad de que una compensación temporal que se deduce a partir del conjunto de datos

de la población estadística se encuentre distante de la compensación verdadera en la dirección del vector u_2 propio. Por otra parte, en este caso, debido a que la varianza del conjunto de datos de la población estadística es grande en la dirección del vector u_1 propio de la distribución, hay una alta probabilidad de que la compensación temporal que se deduce a partir del conjunto de datos de la población estadística se encuentre cerca de la compensación verdadera en la dirección del vector u_1 propio.

Debido a que las varianzas en las direcciones de eje principal de la distribución pueden expresarse usando los valores λ_1 y λ_2 principales de la distribución como unos indicadores de la distribución, este dispositivo estima unos elementos de población estadística distribuidos en las direcciones que se corresponden respectivamente con los valores principales de acuerdo con las proporciones de los valores λ_1 y λ_2 principales. Concretamente, en primer lugar, un vector f de corrección, que es un vector de posición de la compensación c nueva en relación con la compensación c_0 antigua, y un vector g de posición temporal, que es un vector de posición de la compensación temporal en relación con la compensación c_0 antigua, pueden definirse en un sistema de coordenadas que tiene unos ejes coordenados α y β que coinciden con las direcciones de eje principal de la distribución. Es decir, puede definirse que cada uno del vector f de corrección y el vector g de posición temporal es una combinación lineal de los vectores fundamentales de las direcciones de eje principal de la distribución. Esto se corresponde con una conversión en unos valores de los ejes principales. Si las componentes f_α y f_β del vector f de corrección se deducen ponderando las componentes g_α y g_β del vector g de posición de la compensación temporal en relación con la compensación c_0 antigua de acuerdo con las medidas de los valores principales u_1 y u_2 de la distribución, es posible deducir el vector f de corrección aumentando la fiabilidad de los elementos de población estadística en una dirección con una dispersión grande y disminuyendo la fiabilidad de los elementos de población estadística en una dirección con una dispersión pequeña. No obstante, tales definiciones del vector f de corrección y el vector g de posición temporal se introducen también para definir la condición de restricción con la que se deduce la compensación c nueva y cada uno del vector f de corrección y el vector g de posición temporal no son realmente unos datos que se necesite deducir.

Deduciendo la compensación c nueva con una condición de restricción de que la compensación c nueva se obtenga como la suma de la compensación c_0 antigua y el vector f de corrección que se determinan tal como se describió anteriormente, es posible, con independencia de la distribución del conjunto de datos de la población estadística, deducir la compensación nueva mientras se estima que un conjunto de datos magnéticos distribuidos en una dirección de eje principal con una dispersión más grande son elementos más significativos de la población estadística y un conjunto de datos magnéticos distribuidos en una dirección de eje principal con una dispersión más pequeña son elementos menos significativos de la población estadística. Una técnica a modo de ejemplo para deducir la compensación nueva de esta forma es formular la distribución como un problema de optimización. Con independencia de la operación de calibración que realice el usuario, este dispositivo puede deducir la compensación nueva más probable que puede deducirse a partir de una operación realmente realizada y de este modo no se requiere que el usuario realice una operación predeterminada.

En el dispositivo de procesamiento de datos magnéticos de la invención, la condición de restricción puede ser que un factor de ponderación del vector de posición temporal para el coeficiente del segundo vector fundamental en la dirección de eje principal que se corresponde con uno más pequeño de los valores principales sea cero si una proporción del valor principal más pequeño con uno más grande de los valores principales es igual a o menor que un umbral predeterminado.

Este dispositivo estima de forma discreta la distribución del conjunto de datos de la población estadística y pondera de forma discreta los coeficientes del vector de posición de la compensación temporal en relación con la compensación c_0 antigua de acuerdo con el resultado de la estimación discreta. Concretamente, el peso del coeficiente del vector g de posición temporal en la dirección en la que el valor de la distribución es relativamente pequeño es "0". Es decir, no se estima ningún conjunto de datos de la población estadística en la dirección en la que el valor de la distribución es más pequeño que un umbral.

En el dispositivo de procesamiento de datos magnéticos de la invención, la condición de restricción puede ser que los coeficientes del vector de corrección sean unos valores que se obtienen ponderando los coeficientes del vector de posición temporal ponderando unos factores que se corresponden continuamente con las proporciones de los valores principales de la distribución del conjunto de datos de la población estadística. Este dispositivo puede aumentar la eficiencia sustancial en cuanto al uso del conjunto de datos de la población estadística debido a que los factores de ponderación tienen una asociación continua con la distribución. Además, el dispositivo puede simplificar el proceso de actualización de compensación debido a que es posible deducir la compensación nueva sin cambiar el proceso de acuerdo con la distribución del conjunto de datos de la población estadística.

En el dispositivo de procesamiento de datos magnéticos de la invención, los factores de ponderación respectivos para los coeficientes del vector de posición temporal pueden normalizarse ajustando, a uno, el factor de ponderación para el coeficiente del segundo vector fundamental en la dirección de eje principal que se corresponde con el valor principal más grande. En el caso en el que se introducen unos indicadores de estimación de la distribución del conjunto de datos de la población estadística que no son los valores principales de la distribución, no es necesario normalizar los factores de ponderación ajustando el factor de ponderación más grande a uno. Por ejemplo, el factor de ponderación máximo puede ajustarse a menor que uno de acuerdo con la proporción de la distancia máxima entre los datos magnéticos en una dirección de eje principal (es decir, la dirección principal) que se corresponde con

el valor principal más grande con el radio de un círculo que se ha deducido como una circunferencia, que tiene una parte cerca de la que se distribuye un conjunto de datos de la población estadística, basándose en el conjunto de datos de la población estadística.

5 En el dispositivo de procesamiento de datos magnéticos de la invención para llevar a cabo el objetivo anterior, los medios de deducción de compensación pueden deducir una "c" que minimiza la siguiente función f(c) objetivo con la condición de restricción:

$$f(c) = (Xc - j)^T (Xc - j),$$

en la que "X" y "j" son tal como se indica a continuación cuando los datos magnéticos se representan mediante $q_i = (q_{ix}, q_{iy})$ ($i = 0, 1, 2, \dots$):

$$X = \begin{bmatrix} (q_0 - \bar{q})^T \\ (q_1 - \bar{q})^T \\ (q_2 - \bar{q})^T \\ \dots \\ (q_{N-1} - \bar{q})^T \end{bmatrix} \quad j = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} q_0^T q_0 - R \\ q_1^T q_1 - R \\ q_2^T q_2 - R \\ \dots \\ q_{N-1}^T q_{N-1} - R \end{bmatrix}$$

10 En esta memoria descriptiva, todos los vectores son vectores columna y los vectores fila se expresan como matrices traspuestas de vectores columna. Un símbolo "T" se adjunta a cada matriz traspuesta en el lado superior, o esquina, derecho del mismo [es decir, en forma de $()^T$].

15 Debido a que este dispositivo deduce una compensación nueva como un problema de optimización de la distribución con una condición de restricción, es posible deducir la compensación nueva, por ejemplo, resolviendo un sistema de ecuaciones lineales sencillas tal como se describe más adelante en las realizaciones. Es decir, con independencia de cómo sea la distribución del conjunto de datos de la población estadística, es posible para este dispositivo deducir, a través de un proceso sencillo, la compensación nueva más probable que puede deducirse a partir del conjunto de datos de la población estadística.

20 La función de cada uno de la pluralidad de medios que se incluye en el dispositivo de la presente invención se lleva a cabo mediante un recurso de hardware, especificándose la función de este mediante su construcción, un recurso de hardware, especificándose la función de este mediante un programa, o una combinación de estos recursos. La función de cada uno de la pluralidad de medios no se lleva a cabo necesariamente mediante un recurso de hardware físicamente independiente. La presente invención puede especificarse no sólo mediante un dispositivo sino también
25 mediante un programa, un medio de grabación en el que se graba el programa, y un procedimiento. Las operaciones del procedimiento que se describen en las reivindicaciones no se llevan a cabo necesariamente en el orden tal como se describe en las reivindicaciones y pueden realizarse en cualquier otro orden o al mismo tiempo, con la condición de que haya impedimentos técnicos.

Las realizaciones del primer aspecto de la presente invención se describirán en el siguiente orden.

30 A. Primera realización

[1. Descripción general]

- 1-1. Estructura del hardware
- 1-2. Estructura del software

[2. Método]

- 35 2-1. Flujo global
- 2-2. Actualización de la memoria intermedia
- 2-3. Estimación de la distribución
- 2-4. Deducción de la compensación nueva a través del problema de optimización
- 40 2-5. Deducción de la compensación nueva cuando la distribución es bidimensional
- 2-6. Deducción de la compensación nueva cuando la distribución es sustancialmente unidimensional
- 2-7. Resumen

B. Segunda realización

- Visión de conjunto
- Estimación de la distribución
- 45 • Deducción de la compensación nueva

C. Otras realizaciones

[Descripción general]

1-1. Estructura del hardware

5 La figura 2 es un diagrama esquemático de la apariencia externa de un automóvil 2 que es un ejemplo de un cuerpo en movimiento al que se aplica la presente invención. El automóvil 2 incluye un sensor 4 magnético de dos dimensiones (de 2D). El sensor 4 magnético de 2D detecta la dirección y la intensidad de un campo magnético detectando unas intensidades respectivas del campo magnético en dos direcciones ortogonales (x, y). El sensor 4 magnético de 2D, que constituye una parte de un sistema de navegación montado en el automóvil 2, se usa para especificar la dirección del recorrido del automóvil 2.

10 La figura 3 es un diagrama de bloques de un dispositivo de medición magnética que incluye un sensor 4 magnético de 2D y un dispositivo 1 de procesamiento de datos magnéticos. El sensor 4 magnético de 2D incluye unos sensores 30 y 32 de eje x e y que detectan componentes de dirección x e y de un vector de campo magnético debido al magnetismo terrestre. Cada uno de los sensores 30 y 32 de eje x e y incluye un elemento de resistencia magnética, un sensor de efecto Hall, o similar, que puede ser cualquier tipo de sensor magnético de una dimensión con la condición de que presente directividad. Los sensores 30 y 32 de eje x e y se fijan de modo que sus direcciones de detección son perpendiculares entre sí. Las salidas de los sensores 30 y 32 de eje x e y se dividen en tiempo y se introducen como entrada en una interfaz (I/F) 22 de sensor magnético. La interfaz 22 de sensor magnético convierte de analógico a digital unas entradas a partir de los sensores 30 y 32 de eje x e y después de amplificar las entradas. Los datos magnéticos digitales que se emiten como salida a partir de la interfaz 22 de sensor magnético se introducen como entrada en el dispositivo 1 de procesamiento de datos magnéticos a través de un bus 5.

20 El dispositivo 1 de procesamiento de datos magnéticos es un ordenador que incluye una CPU 40, una ROM 42, y una RAM 44. La CPU 40 controla unas operaciones globales de, por ejemplo, el sistema de navegación. La ROM 42 es un medio de almacenamiento no volátil que almacena un programa de procesamiento de datos magnéticos o una variedad de programas que se usan para implementar unas funciones del sistema de navegación, que se ejecutan mediante la CPU 40. La RAM 44 es un medio de almacenamiento volátil que almacena temporalmente unos datos que van a procesarse mediante la CPU 40. El dispositivo 1 de procesamiento de datos magnéticos y el sensor 4 magnético de 2D pueden construirse como un dispositivo de medición magnética de un sólo circuito integrado.

1-2. Estructura del software

30 La figura 4 es un diagrama de bloques de un programa 90 de procesamiento de datos magnéticos. El programa 90 de procesamiento de datos magnéticos se almacena en la ROM 42 para proporcionar datos de orientación a un localizador 98. Los datos de orientación son unos datos de vector de 2D que representan la orientación del campo magnético de la Tierra. El programa 90 de procesamiento de datos magnéticos se construye como un grupo de módulos tales como un módulo 92 de gestión de memoria intermedia, un módulo 94 de deducción de compensación, y un módulo 96 de deducción de orientación.

35 El módulo 92 de gestión de memoria intermedia es una parte de programa que recibe una pluralidad de datos magnéticos de forma secuencial que se emiten como salida a partir del sensor 4 magnético y almacena los datos magnéticos recibidos en una memoria intermedia con el fin de usar los datos magnéticos en una actualización de compensación. El módulo 92 de gestión de memoria intermedia permite que la CPU 40, la RAM 44, y la ROM 42 funcionen tal como unos medios de entrada y unos medios de almacenamiento. Esta memoria intermedia puede realizarse no sólo en hardware sino también en software. Se hará referencia ahora a un conjunto de datos magnéticos almacenados en esta memoria intermedia como un conjunto de datos de la población estadística.

45 El módulo 94 de deducción de compensación es una parte de programa que deduce una compensación nueva basándose en un conjunto de datos de la población estadística que mantiene el módulo 92 de gestión de memoria intermedia y una compensación antigua que mantiene el módulo 94 de deducción de compensación y actualiza la compensación antigua con la compensación nueva. El módulo 94 de deducción de compensación permite que la CPU 40, la RAM 44, y la ROM 42 funcionen tal como unos medios de deducción de compensación. Debido a que la actualización de la compensación antigua con la compensación nueva hace que la compensación nueva se haga una compensación antigua, se hará referencia a la "compensación antigua" simplemente como una "compensación" en un contexto en el que no produce malentendidos. Realmente, una compensación que se usa para la corrección de datos de orientación se ajusta en una variable y la compensación nueva se deduce como una variable diferente de esa variable. Cuando se deduce la compensación nueva, se ajusta en la variable que se usa para la corrección de datos de orientación. Por lo tanto, la variable que se usa para la corrección de datos de orientación es aquella en la que se almacena la compensación antigua.

55 El módulo 96 de deducción de orientación es una parte de programa que corrige los datos magnéticos de forma secuencial que se emiten como salida a partir del sensor magnético usando la compensación que mantiene el módulo 94 de deducción de compensación para crear datos de orientación. Concretamente, el módulo 96 de deducción de orientación emite como salida, como los datos de orientación, unos datos que incluyen 2 componentes que se obtienen restando las componentes de la compensación respecto de las componentes de los datos

magnéticos que son unos datos de vector de 2D.

5 El localizador 98 es un programa conocido que especifica la posición actual del automóvil 2 a través de navegación autónoma. Concretamente, el localizador 98 especifica la dirección del recorrido del automóvil 2 basándose en los datos de orientación y especifica la posición del automóvil 2 en relación con un punto base basándose tanto en la dirección del recorrido como en la distancia de recorrido. Los datos de orientación pueden usarse sólo para visualizar norte, sur, este y oeste mediante unos caracteres o flechas en la pantalla y pueden usarse también para un procesamiento de mapa de rumbo del mapa visualizado en la pantalla.

[2. Método]

2-1. Flujo global

10 La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un método de deducción de compensación nueva. La CPU 40 realiza el método de la figura 5 ejecutando el módulo de gestión de memoria intermedia y el módulo 94 de deducción de compensación cuando se ha hecho una solicitud de actualización de compensación. La solicitud de actualización de compensación puede hacerse en intervalos de tiempo predeterminados y puede también hacerse mediante una instrucción explícita del conductor.

15 2-2. Actualización de la memoria intermedia

En la etapa S100, se borran todos los datos magnéticos almacenados en la memoria intermedia, en la que se almacena un conjunto de datos magnéticos (conjunto de datos de la población estadística) que se usa para deducir una compensación nueva. Como resultado, en este proceso, se borra un conjunto de datos de la población estadística que se usa para deducir la compensación antigua.

20 En la etapa S102, unos datos magnéticos que se usan para deducir una compensación nueva se introducen como entrada y se almacenan en la memoria intermedia. Cuando una pluralidad de datos magnéticos se introduce como entrada de forma secuencial a partir del sensor 4 magnético sin apenas cambios en la dirección del recorrido del automóvil 2, la distancia entre dos datos (o valores) magnéticos introducidos como entrada de forma secuencial es pequeña. El almacenamiento de una pluralidad de datos magnéticos cercanos en una memoria intermedia con una capacidad limitada malgasta recursos de memoria y produce una actualización innecesaria de los procesos de memoria intermedia. Además, si se deduce una compensación nueva basándose en un conjunto de datos magnéticos cercanos, hay una posibilidad de que se deduzca una compensación nueva poco precisa basándose en un conjunto de datos distribuido de manera no uniforme de la población estadística. Si es necesario o no actualizar la memoria intermedia puede definirse de la siguiente manera. Por ejemplo, si la distancia entre los últimos datos magnéticos de entrada y unos datos magnéticos almacenados en la memoria intermedia inmediatamente antes de los últimos datos magnéticos de entrada es menor que un umbral dado, se determina que no es necesario actualizar la memoria intermedia y los últimos datos magnéticos de entrada se descartan sin almacenarse en la memoria intermedia.

35 En la etapa S104, se determina si se ha almacenado o no en la memoria intermedia un número especificado de los datos magnéticos que se precisa para deducir una compensación nueva precisa. Es decir, el número de elementos del conjunto de datos de la población estadística se determina con anterioridad. El ajuste de un pequeño número de elementos del conjunto de datos de la población estadística mejora la respuesta a la solicitud de actualización de compensación. Los procesos de las etapas S102 y S104 se repiten hasta que el número especificado de los datos magnéticos se ha almacenado en la memoria intermedia.

40 2-3. Estimación de la distribución

Una vez que el número especificado de los datos magnéticos se ha almacenado en la memoria intermedia, se estima la distribución del conjunto de datos de la población estadística (S106). La distribución se estima basándose en los valores principales de la distribución. Cuando el conjunto de datos magnéticos se expresa mediante la siguiente ecuación (1), los valores principales de la distribución son los valores propios de una matriz A simétrica que se define mediante las ecuaciones (2), (3), y (4) usando la suma de vectores que se inicia desde un centro (promedio) del conjunto de datos de la población estadística y que finaliza con los datos magnéticos respectivos.

$$q_i = (q_{ix}, q_{iy}) \quad (i = 0, 1, 2, \dots) \dots (1)$$

$$A = X^T X \quad \dots(2)$$

en las que

$$X = \begin{bmatrix} (q_0 - \bar{q})^T \\ (q_1 - \bar{q})^T \\ (q_2 - \bar{q})^T \\ \dots \\ (q_{N-1} - \bar{q})^T \end{bmatrix} \dots (3)$$

$$\bar{q} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} q_i \dots (4)$$

Puesto que la matriz A puede también volver a escribirse como la ecuación (5), la matriz A se corresponde con N veces una matriz de varianzas-covarianzas.

$$A = \sum_{i=0}^{N-1} (q_i - \bar{q})(q_i - \bar{q})^T \dots (5)$$

- 5 Sean λ_1 y λ_2 los valores propios de la matriz A en un orden creciente. Sean u_1 y u_2 unos vectores propios ortogonales entre sí que se corresponden con λ_1 y λ_2 y que se han normalizado a una longitud de 1. En esta realización, se supone que la matriz A es regular y que los intervalos de λ_1 y λ_2 son $\lambda_1 > 0$ y $\lambda_2 > 0$. Cuando el valor λ_2 propio más pequeño de la matriz A es cero, es decir, cuando el rango de la matriz A es uno o menos, no hay necesidad de considerarlo debido a que el número de elementos del conjunto de datos de la población estadística es uno o la distribución es una línea perfectamente recta. Cada uno de los valores propios debe ser cero o un número real positivo debido a que la matriz A es, a partir de su definición, una matriz semidefinida positiva.

10 Se estima la distribución del conjunto de datos de la población estadística basándose en la proporción λ_2 / λ_1 del valor propio más pequeño con el valor propio más grande.

- 15 En la etapa S106, se determina si la distribución del conjunto de datos de la población estadística es lo bastante bidimensional o no. Concretamente, la determinación es afirmativa cuando la siguiente condición (6) se satisface y negativa cuando no se satisface.

$$\lambda_2 / \lambda_1 > t \dots (6)$$

La condición (6) se satisface cuando se distribuye el conjunto de datos de la población estadística por un amplio intervalo a lo largo de una circunferencia específica.

- 20 Si la determinación de la etapa S106 es negativa, la distribución del conjunto de datos de la población estadística es sustancialmente unidimensional. Cuando el conjunto de datos de la población estadística está distribuido de manera no uniforme a lo largo de un arco de ángulo central estrecho de la circunferencia específica, la distribución del conjunto de datos de la población estadística es sustancialmente unidimensional.

2-4. Dedución de la compensación nueva a través del problema de optimización

- 25 A continuación se describirá un problema de optimización para deducir una compensación nueva. Cuando el conjunto de datos de la población estadística incluye 3 datos magnéticos no presentes en la misma recta, una circunferencia en la que se distribuye el conjunto de datos de la población estadística se especifica de forma única sin el uso de una técnica estadística. Un vector de posición $c = (c_x, c_y)$ del centro de esta circunferencia se obtiene resolviendo el sistema de ecuaciones (7). Aunque para dos variables existen tres restricciones de igualdad, las ecuaciones (7) deben tener una solución debido a que una de las tres restricciones de igualdad es redundante.

$$\begin{bmatrix} (q_0 - \bar{q})^T \\ (q_1 - \bar{q})^T \\ (q_2 - \bar{q})^T \end{bmatrix} c = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} q_0^T q_0 - R \\ q_1^T q_1 - R \\ q_2^T q_2 - R \end{bmatrix} \dots (7)$$

en las que

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} q_i^T q_i \quad \dots \quad (8)$$

Cuando el número de elementos del conjunto de datos de la población estadística es 4 o más, "j" se define mediante la siguiente ecuación (9).

$$j = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} q_0^T q_0 - R \\ q_1^T q_1 - R \\ q_2^T q_2 - R \\ \dots \\ q_{N-1}^T q_{N-1} - R \end{bmatrix} \quad \dots \quad (9)$$

5 En este caso, si el sistema de ecuaciones lineales (10) para "c" tiene una solución, la solución es el centro de una circunferencia en la que se distribuye el conjunto de datos de la población estadística.

$$Xc = j \quad \dots \quad (10)$$

10 No obstante, si se considera un error de medición intrínseco del sensor 4 magnético de 2D, es prácticamente imposible que las ecuaciones (10) tengan una solución. Se introduce un vector "e" que se define mediante la siguiente ecuación (11) para obtener una solución verosímil a través de una técnica estadística.

$$e = Xc - j \quad \dots \quad (11)$$

15 puede considerarse que una "c" que minimiza $\|e\|_2^2$ (es decir, $e^T e$) es verosímil como el centro de la circunferencia más próxima a la distribución del conjunto de datos de la población estadística. Un problema para encontrar el valor "c" que minimiza $\|e\|_2^2$ es un problema de optimización para minimizar una función objetivo de la siguiente ecuación (12) cuando la matriz A es regular.

$$f(c) = (Xc - j)^T (Xc - j) \quad \dots \quad (12)$$

2-5. Dedución de la compensación nueva cuando la distribución es bidimensional

20 Cuando la distribución del conjunto de datos de la población estadística es bidimensional tal como se muestra en la figura 6, el conjunto de datos de la población estadística es lo bastante fiable en su totalidad y por lo tanto se deduce una compensación nueva obteniendo una "c" que minimiza la función f(c) objetivo de la ecuación (12) sin ninguna condición de restricción (S108). El valor "c" que minimiza la función f(c) objetivo sin ninguna condición de restricción puede escribirse como la ecuación (13) cuando la $X^T X$ que se supone en esta realización es regular.

$$c = (X^T X)^{-1} X^T j \quad \dots \quad (13)$$

25 Cuando se ha deducido una "c" que satisface la ecuación (13), se deduce una compensación nueva, que puede obtenerse corrigiendo la compensación antigua en dos direcciones, basándose en el conjunto de datos de la población estadística sin el uso de la compensación antigua.

30 Cuando el conjunto de datos de la población estadística es lo bastante bidimensional, no es necesario usar la compensación antigua al deducir la compensación nueva. Un algoritmo para deducir una compensación nueva basándose en el conjunto de datos de la población estadística sin el uso de la compensación antigua puede ser un algoritmo que, tal como en esta realización, usa una de una variedad de técnicas estadísticas que se han propuesto y puede ser también un algoritmo que no use una técnica estadística.

2-6. Dedución de la compensación nueva cuando la distribución es sustancialmente unidimensional

35 Tal como se muestra en la figura 7, cuando se distribuye el conjunto de datos de la población estadística a lo largo de un arco de ángulo central estrecho de la circunferencia específica y de este modo la distribución del conjunto de datos de la población estadística es sustancialmente unidimensional (es decir, lineal), se deduce una compensación nueva restringiendo las direcciones en las que se corrige la compensación antigua a una dirección principal de la distribución (S110). Cuando se distribuye el conjunto de datos de la población estadística cerca de una recta específica, la distribución del conjunto de datos de la población estadística en la dirección de la recta es lo bastante fiable mientras que la distribución del conjunto de datos de la población estadística en otras direcciones es poco fiable. En este caso, la compensación antigua no se corrige en unas direcciones que no sean la dirección de la recta, evitando de este modo que la compensación se actualice – basándose en una información poco fiable.

40 Cuando se distribuye el conjunto de datos de la población estadística cerca de una recta específica, la dirección de la recta es coincidente con la dirección (es decir, la dirección principal) de un vector u_1 propio que se corresponde

con el valor propio λ_1 más grande y la dirección de un vector u_2 propio que se corresponde con el valor λ_2 propio más pequeño es perpendicular a la recta. Por consiguiente, con el fin de deducir una compensación nueva sólo en la dirección de la recta, una compensación c nueva que minimiza la función objetivo de la ecuación (12) se obtiene con una condición de restricción que se expresa mediante la siguiente ecuación (14).

5
$$u_2^T (c - c_0) = 0 \quad \dots (14)$$

La ecuación para resolver el problema de optimización de la ecuación (12) con la condición de restricción de la ecuación (14) puede transformarse en su sistema de ecuaciones equivalente usando el procedimiento de los multiplicadores de Lagrange. Cuando se introduce un multiplicador p constante no conocido y se determina "x" mediante la siguiente ecuación (15), el sistema de ecuaciones lineales (16) de "x" es el sistema de ecuaciones que se menciona anteriormente.

10

$$x = \begin{bmatrix} c \\ \rho \end{bmatrix} \quad \dots (15)$$

$$B_3 x = b_3 \quad \dots (16)$$

en el que

$$B_3 = \begin{bmatrix} A & u_2 \\ u_2^T & 0 \end{bmatrix} \quad \dots (17)$$

$$b_3 = \begin{bmatrix} X^T j \\ u_2^T c_0 \end{bmatrix} \quad \dots (18)$$

15 Tal como puede entenderse a partir de la descripción anterior, si la distribución del conjunto de datos de la población estadística es sustancialmente unidimensional, el proceso para deducir la compensación nueva en la etapa S110 es resolver el sistema de ecuaciones lineales (16). La solución "x" debe especificarse de forma única debido a que el rango de la matriz B_3 debe de ser 3.

2-7. Resumen

20 Los procesos de las etapas S108 y S110 se describirán a continuación usando conceptos espaciales con referencia a las figuras 6 y 7. Si se supone que el conjunto de datos de la población estadística es completamente fiable, la compensación c nueva se define mediante la siguiente ecuación (19) considerando la compensación c nueva como la suma de la compensación c_0 antigua y un vector g de posición (es decir, un vector de posición temporal) del centro de una circunferencia, que se deduce sólo a partir del conjunto de datos de la población estadística, en relación con la compensación c_0 antigua.

25
$$c = c_0 + g \quad \dots (19)$$

Puede considerarse que el vector de posición "c" de la compensación nueva es la suma de la compensación antigua "c₀" y un vector de corrección "f" que es una combinación lineal de los vectores fundamentales en las mismas direcciones que los vectores u_1 y u_2 propios de la distribución. Por lo tanto, el vector de corrección "f", que se corresponde con un vector corregido a partir del vector de posición "g" de acuerdo con los grados de fiabilidad respectivos de las componentes del vector de posición "g" que se corresponde con el centro del conjunto de datos de la población estadística, puede obtenerse ponderando unos coeficientes g_α y g_β del vector de posición "g" de acuerdo con los grados de fiabilidad respectivos del conjunto de datos de la población estadística en las direcciones de eje principal correspondientes.

30 En el proceso de la etapa S108 que se realiza cuando la distribución del conjunto de datos de la población estadística es lo bastante bidimensional tal como se muestra en la figura 6, se obtiene una "c" que minimiza la función objetivo de la ecuación (12) sin ninguna condición de restricción tal como se describió anteriormente. No obstante, puede considerarse que este proceso se realiza con una condición de restricción de que la compensación nueva "c" se obtenga como la suma de la compensación c_0 antigua y el vector de corrección "f" que se obtiene ponderando ambas de las componentes g_α y g_β del vector de posición temporal "g" en dos direcciones de eje principal de la distribución por un factor de ponderación de "1". En la figura 6, el vector de corrección "f" no se

40

muestra debido a que es coincidente con el vector de posición "g".

En el proceso de la etapa S110 que se realiza cuando la distribución del conjunto de datos de la población estadística es sustancialmente unidimensional tal como se muestra en la figura 7, se impone la siguiente condición de restricción al deducir una compensación nueva basándose en la compensación c_0 antigua y el conjunto de datos de la población estadística. La condición de restricción es que la compensación c nueva se obtenga como la suma de la compensación c_0 antigua y un vector de corrección "f" que se obtiene ponderando un coeficiente g_α del vector de posición temporal "g" en una dirección de eje principal (o una dirección principal) de la distribución que se corresponde con el valor principal más grande de la distribución (es decir, que se corresponde con el valor λ_1 propio más grande) por un factor de ponderación de "1" del vector de posición temporal "g" y ponderando un coeficiente g_β en una dirección de eje principal de la distribución que se corresponde con el valor principal más pequeño de la distribución (es decir, que se corresponde con el valor λ_2 propio más pequeño) por un factor de ponderación de "0" del vector de posición "g".

El punto clave del algoritmo en esta realización es que se obtiene una "c" que minimiza la función objetivo de la ecuación (12) con una condición de restricción de que los factores de ponderación para ambas de las componentes del vector de posición temporal "g" se ajustan a "1" si la proporción entre los valores principales de la distribución del conjunto de datos de la población estadística es mayor que un umbral predeterminado "t" y un factor de ponderación para la componente del vector de posición temporal "g" en la dirección principal de la distribución se ajusta a "1" y un factor de ponderación para la componente del vector de posición temporal "g" en una dirección de eje principal de la distribución con un nivel más pequeño de la distribución se ajusta a "0" si la proporción entre los valores principales de la distribución del conjunto de datos de la población estadística es menor que o igual al umbral predeterminado "t".

B. Segunda realización

* Visión de conjunto

En la primera realización, se estima la distribución del conjunto de datos de la población estadística de forma discreta y la compensación nueva "c" se deduce usando técnicas diferentes cuando la distribución es lo bastante bidimensional y cuando la distribución es sustancialmente unidimensional. En la segunda realización, se dará una descripción de un algoritmo sencillo y muy preciso que puede eliminar la necesidad de realizar procesos diferentes de acuerdo con unas estimaciones de la distribución tal como en la primera realización y que puede también deducir una compensación nueva más probable usando eficientemente el conjunto de datos de la población estadística.

La figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de deducción de compensación nueva. De la misma forma que en la primera realización, la CPU 40 realiza el método de la figura 8 ejecutando el módulo 94 de deducción de compensación cuando se ha hecho una solicitud de actualización de compensación. El proceso de la etapa S200 es el mismo que el proceso de la etapa S100 que se describió anteriormente en la primera realización. El proceso de la etapa S202 es el mismo que el proceso de la etapa S102 que se describió anteriormente en la primera realización. El proceso de la etapa S204 es el mismo que el proceso de la etapa S104 que se describió anteriormente en la primera realización.

• Estimación de la distribución

En la etapa S206, se deduce un indicador de distribución del conjunto de datos de la población estadística. Concretamente, se estima la distribución del conjunto de datos de la población estadística como valores continuos deduciendo, como un indicador de distribución, un m_2 que se define mediante la siguiente ecuación (20).

$$m_2 = 1 - \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^{k_2} \dots (20)$$

En este caso, "k₂" es un número constante positivo predeterminado. El valor de k₂ determina la asociación entre los valores principales y los grados de fiabilidad de las direcciones de eje principal correspondientes del conjunto de datos de la población estadística. En este caso, "m₂" debe satisfacer la siguiente condición (21).

$$0 \leq m_2 < 1 \dots (21)$$

El concepto espacial de m₂ se describirá a continuación con referencia a la figura 1. Cuando los coeficientes de las componentes del vector g de posición temporal en las direcciones de eje principal de la distribución se indican mediante g_α y g_β en un orden decreciente de los valores principales correspondientes y los coeficientes de las componentes del vector f de posición en las direcciones de eje principal de la distribución se indican mediante f_α y f_β en un orden decreciente de los valores principales correspondientes, las relaciones entre el vector g de posición temporal, el vector f de corrección, y m₂ en esta realización se expresan mediante las siguientes ecuaciones (22) y (23).

$$\frac{f_{\alpha}}{g_{\alpha}} = 1 \quad \dots (22)$$

$$\frac{f_{\beta}}{g_{\beta}} = \frac{\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^{m_2} - \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)}{\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^{m_2} - \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right) - m_2^2} \quad \dots (23)$$

El factor de ponderación f_{α}/g_{α} asociado con la componente de la dirección de eje principal que se corresponde con el valor principal máximo puede ajustarse para ser menor que "1". Además, si se satisfacen las siguientes condiciones, puede realizarse cualquier definición para "m₂" determinada de tal forma que los factores de ponderación se corresponden continuamente con las proporciones de unos valores principales, sin limitarse a la definición de la ecuación (20).

- El intervalo de valores de m₂ es [0, 1] o su subconjunto.
- m₂ ≠ 1 cuando $\lambda_2/\lambda_1 = 1$
- se permite m₂ = 1 cuando $\lambda_2/\lambda_1 = 0$ si $\lambda_2 = 0$
- m₂ disminuye de forma no estrictamente monótona a medida que λ_2/λ_1 aumenta.

Concretamente, m₂ puede definirse, por ejemplo, mediante la siguiente ecuación (24).

$$m_2 = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{sgn} \left\{ 2 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^s - 1 \right\} \left| 2 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^s - 1 \right|^k \quad \dots (24)$$

en la que "s" y "k" son unos números reales no negativos y "sgn" es una función de signo que se expresa mediante la siguiente ecuación.

$$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1(x > 0) \\ 0(x = 0) \\ -1(x < 0) \end{cases} \quad \dots (25)$$

Debido a que se precisa una cantidad muy grande de cálculo para deducir un m₂ que se define mediante la ecuación (24), los resultados de cálculo de la ecuación (24) con las entradas λ_1 y λ_2 pueden almacenarse en una tabla de consulta de 2D y un valor aproximado de m₂ puede deducirse entonces con referencia a la tabla de consulta de 2D.

Los índices "s" y "k" se ajustan dependiendo de las realizaciones debido a que los efectos de ponderación varían dependiendo de sus valores. Las figuras 9 y 10 son gráficas que representan unos efectos de ponderación que varían dependiendo de los índices "s" y "k". La figura 9 muestra la relación entre la proporción de los valores propios (λ_2/λ_1) y el factor m₂ de ponderación cuando "s" se fija a 1 y "k" se ajusta a 1/4, 1, y 4 en la ecuación (24). La figura 10 muestra la relación entre la proporción de los valores propios (λ_2/λ_1) y el factor m₂ de ponderación cuando "k" se fija a 1/4 y "s" se ajusta a 1/2, 1, y 2 en la ecuación (24).

Cuando un sensor magnético se monta en un cuerpo u objeto en movimiento tal como un teléfono móvil o un asistente digital personal (PDA, *Personal Digital Assistant*), la actitud o la postura del cual cambia con una alta frecuencia o velocidad angular, puede esperarse que la distribución de unos datos magnéticos almacenados en un periodo de tiempo determinado sea como promedio relativamente abierta. En caso de que la distribución de los datos magnéticos no fuera tan abierta, la precisión de la compensación se degradaría bastante si la corrección de compensación se lleva a cabo evaluando de manera significativa el grupo de datos magnéticos de la dirección de eje principal que tiene el valor principal pequeño debido a que un grupo de datos magnéticos de este tipo tiene una baja fiabilidad. Por lo tanto, en caso de que la invención se aplique a un objeto en movimiento en el que la distribución del grupo de datos magnéticos tiende a hacerse relativamente abierta, los valores de los parámetros s y k deberían ajustarse de modo que el grupo de datos magnéticos de la dirección de eje principal que tiene el valor principal pequeño se evalúa de manera significativa sólo si la distribución de los datos magnéticos es considerablemente abierta. En este caso, puesto que el valor de m₂ en la ecuación (24) se hace más pequeño, esto significa que el peso en la dirección de eje principal de la distribución que tiene el valor principal pequeño se hace

mayor. Como consecuencia, en caso de que la ecuación (24) se aplique a un objeto en movimiento que cambia su postura con una velocidad angular rápida, es deseable ajustar el parámetro s con un valor relativamente grande y ajustar el parámetro k con un valor relativamente pequeño.

5 Por otra parte, cuando un sensor magnético se monta en un cuerpo u objeto en movimiento tal como un automóvil, la actitud o la postura del cual cambia con una frecuencia angular baja, se supone que la distribución de un conjunto de datos magnéticos almacenados en un periodo de tiempo determinado será relativamente compacta como promedio. En un caso de este tipo, la precisión de la compensación no se mejorará si la corrección de compensación se lleva a cabo mientras el grupo de datos magnéticos de la dirección de eje principal que tiene el valor principal pequeño no se evalúa con un peso considerable aunque un grupo de datos magnéticos de este tipo
10 no es tan fiable, cuando la distribución de los datos magnéticos no es tan abierta. Como consecuencia, en caso de que la ecuación (24) se aplique a un objeto en movimiento que cambia su postura con una velocidad angular baja, es deseable ajustar el parámetro s con un valor relativamente pequeño y ajustar el parámetro k con un valor relativamente grande.

• Deducción de la compensación nueva

15 Cuando es difícil deducir una solución para el problema de optimización con una condición de restricción específica, puede introducirse un problema de relajación para resolver el problema de optimización relajando la condición de restricción. Aplicando este problema de relajación, esta realización lleva a cabo un proceso para deducir una compensación c nueva como la suma de la compensación c_0 antigua y un vector f de corrección que se obtiene ponderando los coeficientes g_α y g_β del vector g de posición temporal (véase la figura 1) que se describió
20 anteriormente ponderando unos factores que se corresponden continuamente con las proporciones de los valores principales de la distribución del conjunto de datos de la población estadística. Lo siguiente son detalles de este proceso.

Un multiplicador p constante no conocido se define como una variable que se requiere para los cálculos durante el proceso, agrupándose c y p conjuntamente en un vector "x" que se define mediante la siguiente ecuación (26).

25
$$x = \begin{bmatrix} c \\ \rho \end{bmatrix} \dots (26)$$

Además, una matriz "B" se define mediante la ecuación (27) y un vector "b" se define mediante la ecuación (28).

$$B = \begin{bmatrix} A & m_2 u_2 \\ m_2 u_2^T & \frac{1}{\lambda_1} (m_2 - 1) \end{bmatrix} \dots (27)$$

$$b = \begin{bmatrix} X^T j \\ m_2 u_2^T c_0 \end{bmatrix} \dots (28)$$

El proceso para deducir una compensación nueva en la etapa S208 es encontrar una solución para el siguiente sistema de ecuaciones (29). El vector x se especifica de forma única debido a que la matriz B debe de ser regular.

30
$$Bx = b \dots (29)$$

Encontrar una solución para el sistema de ecuaciones (29) es equivalente a resolver el problema de optimización para minimizar la función objetivo de la ecuación (12) con una condición de restricción de que una compensación nueva se obtenga como la suma de la compensación c_0 antigua y un vector f de corrección cuyas componentes son valores que se obtienen ponderando los coeficientes del vector g de posición en las direcciones de eje principal de la
35 distribución que se corresponde con los valores principales mediante unos factores f_α/g_α y f_β/g_β que se corresponden continuamente con las proporciones de los valores principales de la distribución del conjunto de datos de la población estadística.

En la segunda realización, es sencillo desarrollar o mejorar el módulo 94 de deducción de compensación y el tamaño de los datos del módulo 94 de deducción de compensación se disminuye también debido a que no hay necesidad de ramificar el proceso de deducción de compensación nueva de acuerdo con la distribución del conjunto de datos de la población estadística tal como se describió anteriormente. Además, la segunda realización aumenta la eficiencia en cuanto al uso con la que el módulo 94 de deducción de compensación usa el conjunto de datos de la población estadística y también permite que el módulo de deducción de orientación corrija los datos magnéticos usando la compensación más probable debido a que la compensación antigua puede corregirse en las direcciones

de eje principal de la distribución mediante unas distancias que se corresponden continuamente con las proporciones de los valores principales del conjunto de datos de la población estadística a menos que alguno de los valores principales sea cero.

C. Otras realizaciones

- 5 El primer aspecto de la presente invención no está limitado a las realizaciones anteriores y son posibles diversas realizaciones sin alejarse del alcance de las presentes reivindicaciones. Por ejemplo, el primer aspecto de la presente invención puede aplicarse también a un sensor magnético que se monta en una PDA, un teléfono móvil, un vehículo de motor de dos ruedas, una embarcación, o similar.

10 A continuación, se describe un principio y algoritmo que se usa en el segundo aspecto de la invención posteriormente en detalle con referencia a la figura 11. Los puntos clave de este algoritmo son que se estima que un conjunto de datos magnéticos distribuidos en una dirección de eje principal con una dispersión más grande son unos elementos más significativos de la población estadística para su uso en la actualización de la compensación y que se estima que un conjunto de datos magnéticos distribuidos en una dirección de eje principal con una dispersión más pequeña son unos elementos menos significativos de la población estadística para su uso en la actualización de la compensación. Los detalles son tal como se indica a continuación. Cada una de la compensación c_0 antigua, la compensación c nueva, y la compensación temporal, que se corresponde con la posición del punto de extremo de "g" en relación con el punto de origen "0", son unos datos de vector de posición de 3D que son una combinación lineal de un conjunto de vectores fundamentales de los datos magnéticos. Es decir, cada una de las compensaciones son unos datos de vector representados en el sistema de coordenadas xyz. La compensación c nueva se deduce basándose en la compensación c_0 antigua y en un conjunto de datos magnéticos que se almacena para actualizar la compensación c_0 antigua con la compensación c nueva.

25 El conjunto de datos de la población estadística, que es un conjunto de datos magnéticos almacenados para actualizar la compensación antigua con la compensación c nueva, puede incluir un conjunto de datos magnéticos que se han almacenado en un periodo de tiempo predeterminado y puede incluir un conjunto de datos magnéticos que incluye un número predeterminado de datos magnéticos y puede también incluir un conjunto de datos magnéticos que incluye cualquier número de datos magnéticos que se han almacenado en un instante determinado (por ejemplo, en el instante en el que se hace una solicitud de actualización de compensación). La compensación c_0 antigua puede deducirse usando el mismo procedimiento que la compensación c nueva y puede también determinarse previamente.

30 Aunque se define que la compensación temporal va a deducirse a partir del conjunto de datos de la población estadística sin el uso de la compensación c_0 antigua, esta definición se introduce para definir la condición de restricción con la que se deduce la compensación c nueva y la compensación temporal no es realmente unos datos que sea necesario deducir. Si la compensación temporal se deduce realmente a partir del conjunto de datos de la población estadística sin el uso de la compensación c_0 antigua, la compensación temporal es un vector de posición del centro de una superficie esférica cerca de la que se distribuye el conjunto de datos de la población estadística. No obstante, si el conjunto de datos de la población estadística está distribuido de manera no uniforme en una parte de la superficie esférica que se deduce a partir del conjunto de datos de la población estadística, un error incluido en cada elemento del conjunto de datos de la población estadística afecta en gran medida al resultado de deducción de la superficie esférica y de este modo hay una posibilidad de que se deduzca una compensación temporal distante de la compensación verdadera. Considérese, por ejemplo, que un conjunto de datos de la población estadística se distribuye en una distribución con forma de toroide con vectores u_1 , u_2 , y u_3 propios ortogonales entre sí y la varianza del conjunto de datos de la población estadística se minimiza en la dirección del vector u_3 propio que se corresponde con el valor principal mínimo tal como se muestra en la figura 11. En este caso, debido a que la varianza del conjunto de datos de la población estadística es pequeña en la dirección del vector u_3 propio de la distribución, hay una alta probabilidad de que la posición de una compensación temporal que se deduce a partir del conjunto de datos de la población estadística se encuentre distante de la posición de la compensación verdadera en la dirección del vector u_3 propio. Por otra parte, en este caso, debido a que la varianza del conjunto de datos de la población estadística es grande en la dirección del vector u_1 propio de la distribución, hay una alta probabilidad de que la posición de la compensación temporal que se deduce a partir del conjunto de datos de la población estadística se encuentre cerca de la posición de la compensación verdadera en la dirección del vector u_1 propio.

Debido a que las varianzas en las direcciones de eje principal de la distribución pueden expresarse usando los valores λ_1 , λ_2 , y λ_3 principales de la distribución como unos indicadores de la distribución, este dispositivo estima unos elementos de población estadística distribuidos en las direcciones que se corresponden respectivamente con los valores principales de acuerdo con las proporciones de los valores λ_1 , λ_2 , y λ_3 principales. Concretamente, en primer lugar, puede definirse un vector f de corrección, que es un vector de posición de la compensación c nueva en relación con la compensación c_0 antigua, y un vector g de posición de la compensación temporal en relación con la compensación c_0 antigua en un sistema de coordenadas que tiene unos ejes α , β , y γ coordenados que coinciden con las direcciones de eje principal de la distribución. Es decir, puede definirse que cada uno del vector f de corrección y el vector g de posición es una combinación lineal de los vectores fundamentales de las direcciones de eje principal de la distribución. Esto se corresponde con una conversión en unos valores de los ejes principales. Si las componentes f_α , f_β , y f_γ del vector f de corrección se deducen ponderando las componentes g_α , g_β , y g_γ del vector

g de posición de la compensación temporal en relación con la compensación c_0 antigua de acuerdo con las medidas de los valores u_1 , u_2 , y u_3 principales correspondientes de la distribución, es posible deducir el vector f de corrección aumentando la fiabilidad de los elementos de población estadística en unas direcciones con una dispersión grande y disminuyendo la fiabilidad de los elementos de población estadística en unas direcciones con una dispersión pequeña. No obstante, tales definiciones del vector f de corrección y el vector g de posición se introducen también para definir la condición de restricción con la que se deduce la compensación c nueva y cada uno del vector f de corrección y el vector g de posición no son realmente unos datos que sea necesario deducir.

Deduciendo la compensación c nueva con una condición de restricción de que la compensación c nueva se obtenga como la suma de la compensación c_0 antigua y el vector f de corrección que se determina tal como se describió anteriormente, es posible deducir la compensación nueva mientras se estima que un conjunto de datos magnéticos distribuidos en una dirección de eje principal con una dispersión más grande son elementos más significativos de la población estadística para su uso en la actualización de la compensación y un conjunto de datos magnéticos distribuidos en una dirección de eje principal con una dispersión más pequeña son elementos menos significativos de la población estadística para su uso en la actualización de la compensación. Una técnica a modo de ejemplo para deducir la compensación nueva de esta forma es formular la distribución como un problema de optimización. Si se deduce una compensación nueva como un problema de optimización de la distribución con una condición de restricción, la compensación nueva puede deducirse resolviendo un sistema de ecuaciones lineales sencillas tal como se describe más adelante en las realizaciones. Es decir, con independencia de cómo sea la distribución del conjunto de datos de la población estadística, es posible para este dispositivo deducir, a través de un proceso sencillo, la compensación nueva más probable que puede deducirse a partir del conjunto de datos de la población estadística.

En el dispositivo de procesamiento de datos magnéticos de la invención, la condición de restricción puede ser que un factor de ponderación del vector de posición para el coeficiente de uno de los segundos vectores fundamentales en una de las direcciones de eje principal que se corresponde con uno mínimo de los valores principales sea cero si una proporción de uno intermedio de los valores principales con uno máximo de los valores principales es más alta que un primer umbral y una proporción del valor principal mínimo con el valor principal máximo es igual a o menor que un segundo umbral y que unos factores de ponderación respectivos del vector de posición tanto para el coeficiente del segundo vector fundamental en la dirección de eje principal que se corresponde con el valor principal mínimo como para el coeficiente de otro de los segundos vectores fundamentales en una de las direcciones de eje principal que se corresponde con el valor principal intermedio sean cero si la proporción del valor principal intermedio con el valor principal máximo es igual a o menor que el primer umbral y la proporción del valor principal mínimo con el valor principal máximo es igual a o menor que el segundo umbral.

Este dispositivo estima de forma discreta la distribución del conjunto de datos de la población estadística y pondera de forma discreta los coeficientes del vector de posición de la compensación temporal en relación con la compensación c_0 antigua de acuerdo con el resultado de la estimación discreta. Concretamente, el peso del coeficiente del vector g de posición en la dirección en la que el valor de la distribución es el valor mínimo es "0". También el peso del coeficiente del vector g de posición en la dirección en la que el valor de la distribución es el valor intermedio es "0" si el valor de la distribución es pequeño en la dirección. Es decir, no se estiman datos magnéticos en unas direcciones en las que el valor de la distribución es más pequeño que un umbral.

En el dispositivo de procesamiento de datos magnéticos de la invención, la condición de restricción puede ser que los coeficientes del vector de corrección sean unos valores que se obtienen ponderando los coeficientes del vector de posición ponderando unos factores que se corresponden continuamente con las proporciones de los valores principales de la distribución del conjunto de datos de la población estadística.

Este dispositivo puede aumentar la eficiencia sustancial en cuanto al uso del conjunto de datos de la población estadística debido a que los factores de ponderación tienen una asociación continua con la distribución. Además, el dispositivo puede simplificar el proceso de actualización de compensación debido a que es posible deducir la compensación nueva sin cambiar el proceso de acuerdo con la distribución del conjunto de datos de la población estadística.

En el dispositivo de deducción de compensación de sensor magnético de la invención, los factores de ponderación respectivos para los coeficientes del vector de posición pueden normalizarse ajustando, a uno, el factor de ponderación para el coeficiente del segundo vector fundamental en la dirección de eje principal que se corresponde con el valor principal máximo.

En el caso en el que se introducen unos indicadores de estimación de la distribución del conjunto de datos magnéticos de la población estadística que no son los valores principales de la distribución, no es necesario normalizar los factores de ponderación ajustando el factor de ponderación máximo a uno. Por ejemplo, el factor de ponderación máximo puede ajustarse a menor que uno de acuerdo con la proporción de la distancia máxima entre los datos magnéticos en una dirección de eje principal (es decir, la dirección principal) que se corresponde con el valor principal máximo con el radio de una esfera que se ha deducido como una superficie esférica, que tiene una parte cerca de la que se distribuye un conjunto de datos magnéticos de la población estadística, basándose en el conjunto de datos magnéticos de la población estadística.

En el dispositivo de procesamiento de datos magnéticos de la invención, los medios de deducción de compensación

pueden deducir una "c" que minimiza la siguiente función f(c) objetivo con la condición de restricción:

$$f(c) = (Xc - j)^T (Xc - j),$$

en la que "X" y "j" son tal como se indica a continuación cuando los datos magnéticos se representan mediante $q_i = (q_{ix}, q_{iy}, q_{iz})$ ($i = 0, 1, 2, \dots$):

$$X = \begin{bmatrix} (q_0 - \bar{q})^T \\ (q_1 - \bar{q})^T \\ (q_2 - \bar{q})^T \\ \dots \\ (q_{N-1} - \bar{q})^T \end{bmatrix} \quad j = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} q_0^T q_0 - R \\ q_1^T q_1 - R \\ q_2^T q_2 - R \\ \dots \\ q_{N-1}^T q_{N-1} - R \end{bmatrix}$$

5 Debido a que este dispositivo deduce una compensación nueva como un problema de optimización de la distribución con una condición de restricción, es posible deducir la compensación nueva resolviendo un sistema de ecuaciones lineales sencillas tal como se describe más adelante en las realizaciones. Es decir, con independencia de cómo sea la distribución del conjunto de datos de la población estadística, es posible para este dispositivo deducir, a través de un proceso sencillo, la compensación nueva más probable que puede deducirse a partir del conjunto de datos de la población estadística.

10 Un aparato de medición magnética según la invención comprende el dispositivo de procesamiento de datos magnéticos que se describió anteriormente; y el sensor magnético de 3D. Con independencia de cómo sea la distribución del conjunto de datos de la población estadística, es posible para este dispositivo deducir, a través de un proceso sencillo, la compensación nueva más probable que puede deducirse a partir del conjunto de datos de la población estadística.

15 La función de cada uno de la pluralidad de medios que se incluye en el dispositivo de la presente invención se lleva a cabo mediante un recurso de hardware, especificándose la función de este mediante su construcción, un recurso de hardware, especificándose la función de este mediante un programa, o una combinación de estos recursos. La función de cada uno de la pluralidad de medios no se lleva a cabo necesariamente mediante un recurso de hardware físicamente independiente. La presente invención puede especificarse no sólo mediante un dispositivo sino también mediante un programa, un medio de grabación en el que se graba el programa, y un procedimiento. Las operaciones del procedimiento que se describen en las reivindicaciones no se llevan a cabo necesariamente en el orden tal como se describe en las reivindicaciones y pueden realizarse en cualquier otro orden o al mismo tiempo, con la condición de que no haya impedimentos técnicos.

Las realizaciones del segundo aspecto de la presente invención se describirán en el siguiente orden.

A. Primera realización

[1. Descripción general]

- 1-1. Estructura del hardware
- 1-2. Estructura del software

[2. Método]

- 2-1. Flujo global
- 2-2. Actualización de la memoria intermedia
- 2-3. Estimación de la distribución
- 2-4. Dedución de la compensación nueva a través del problema de optimización
- 2-5. Condición de restricción cuando la distribución es bidimensional
- 2-6. Condición de restricción cuando la distribución es sustancialmente unidimensional
- 2-7. Dedución de la compensación nueva cuando la distribución es tridimensional
- 2-8. Resumen

B. Segunda realización

- Visión de conjunto
- Estimación de la distribución
- Dedución de la compensación nueva

C. Otras realizaciones

[Descripción general]

1-1. Estructura del hardware

La figura 12 es un diagrama esquemático de la apariencia externa de un teléfono 3 móvil que es un ejemplo de un cuerpo en movimiento al que se aplica la presente invención. El teléfono 3 móvil incluye un sensor 4 magnético de tres dimensiones (de 3D). El sensor 4 magnético de 3D detecta la dirección y la intensidad de un campo magnético detectando unas intensidades respectivas del campo magnético en tres direcciones ortogonales (x, y, z). Un visualizador 2 del teléfono 3 móvil visualiza una variedad de información de imágenes o de caracteres. Por ejemplo, el visualizador 2 visualiza un mapa y una flecha o caracteres que representan la orientación (o el azimut).

La figura 13 es un diagrama de bloques de un dispositivo de medición magnética que incluye un sensor 4 magnético de 3D y un dispositivo 1 de procesamiento de datos magnéticos. El sensor 4 magnético de 3D incluye unos sensores 30, 32, y 34 de eje x, y, y z que detectan unas componentes x, y, y z de dirección de un vector de campo magnético debido al magnetismo terrestre. Cada uno de los sensores 30, 32, y 34 de eje x, y, y z incluye un elemento de resistencia magnética, un sensor de efecto Hall, o similar, que puede ser cualquier tipo de sensor magnético de una dimensión con la condición de que presente directividad. Los sensores 30, 32, y 34 de eje x, y, y z se fijan de modo que sus direcciones de detección son perpendiculares entre sí. Las salidas de los sensores 30, 32, y 34 de eje x, y, y z se dividen en tiempo y se introducen como entrada en una interfaz (I/F) 22 de sensor magnético. La interfaz 22 de sensor magnético convierte de analógico a digital unas entradas a partir de los sensores 30, 32, y 34 de eje x, y, y z después de amplificar las entradas. Los datos magnéticos digitales que se emiten como salida a partir de la interfaz 22 de sensor magnético se introducen como entrada en el dispositivo 1 de procesamiento de datos magnéticos a través de un bus 5.

El dispositivo 1 de procesamiento de datos magnéticos es un ordenador que incluye una CPU 40, una ROM 42, y una RAM 44. La CPU 40 controla unas operaciones globales de, por ejemplo, el teléfono 3 móvil. La ROM 42 es un medio de almacenamiento no volátil que almacena un programa de procesamiento de datos magnéticos o una variedad de programas (por ejemplo, un programa de navegación) que se usan para implementar unas funciones del cuerpo en movimiento, que se ejecutan mediante la CPU 40. La RAM 44 es un medio de almacenamiento volátil que almacena temporalmente unos datos que van a procesarse mediante la CPU 40. El dispositivo 1 de procesamiento de datos magnéticos y el sensor 4 magnético de 3D pueden construirse como un dispositivo de medición magnética de un sólo circuito integrado.

1-2. Estructura del software

La figura 14 es un diagrama de bloques de un programa 90 de procesamiento de datos magnéticos. El programa 90 de procesamiento de datos magnéticos se almacena en la ROM 42 para proporcionar datos de orientación a un programa 98 de navegación. Los datos de orientación son unos datos de vector de 2D que representan la orientación del campo magnético de la Tierra. Como datos de vector de 3D para la detección de actitud de, por ejemplo, un cuerpo en movimiento, los datos de orientación pueden proporcionarse a otras aplicaciones. El programa 90 de procesamiento de datos magnéticos se construye como un grupo de módulos tales como un módulo 92 de gestión de memoria intermedia, un módulo 94 de deducción de compensación, y un módulo 96 de deducción de orientación.

El módulo 92 de gestión de memoria intermedia es una parte de programa que recibe una pluralidad de datos magnéticos de forma secuencial que se emiten como salida a partir del sensor 4 magnético y almacena los datos magnéticos recibidos en una memoria intermedia con el fin de usar los datos magnéticos en una actualización de compensación. El módulo 92 de gestión de memoria intermedia permite que la CPU 40, la RAM 44, y la ROM 42 funcionen tal como unos medios de entrada y unos medios de almacenamiento. Esta memoria intermedia puede realizarse no sólo en hardware sino también en software. Se hará referencia ahora a un conjunto de datos magnéticos almacenados en esta memoria intermedia como un conjunto de datos de la población estadística.

El módulo 94 de deducción de compensación es una parte de programa que deduce una compensación nueva basándose en un conjunto de datos de la población estadística que mantiene el módulo 92 de gestión de memoria intermedia y una compensación antigua que mantiene el módulo 94 de deducción de compensación y actualiza la compensación antigua con la compensación nueva. El módulo 94 de deducción de compensación permite que la CPU 40, la RAM 44, y la ROM 42 funcionen tal como unos medios de deducción de compensación. Debido a que la actualización de la compensación antigua con la compensación nueva hace que la compensación nueva se haga una compensación antigua, se hará referencia a la "compensación antigua" simplemente como una "compensación" en un contexto en el que no produce malentendidos. Realmente, una compensación que se usa para la corrección de datos de orientación se ajusta en una variable y la compensación nueva se deduce como una variable diferente de esa variable. Cuando se deduce la compensación nueva, se ajusta en la variable que se usa para la corrección de datos de orientación. Por lo tanto, la variable que se usa para la corrección de datos de orientación es aquella en la que se almacena la compensación antigua.

El módulo 96 de deducción de orientación es una parte de programa que corrige los datos magnéticos de forma secuencial que se emiten como salida a partir del sensor magnético usando la compensación que mantiene el módulo 94 de deducción de compensación para crear datos de orientación. El módulo 96 de deducción de orientación permite que la CPU 40, la RAM 44, y la ROM 42 funcionen tal como unos medios de deducción de

orientación. Concretamente, el módulo 96 de deducción de orientación emite como salida, como los datos de orientación, todos o dos de los 3 componentes que se obtienen restando las componentes de la compensación respecto de las componentes de los datos magnéticos que son unos datos de vector de 3D.

5 El programa 98 de navegación es un programa conocido que busca una ruta al destino y visualiza la ruta en un mapa. Debido a que es sencillo reconocer el mapa, el mapa se visualiza de tal forma que la orientación del mapa concuerda con la orientación del mundo real. Por consiguiente, por ejemplo, cuando el teléfono 3 móvil se gira, el mapa visualizado en el visualizador 2 se gira en relación con el visualizador 2 de tal forma que el mapa no se gira en relación con la Tierra. Los datos de orientación se usan en este procesamiento de visualización de mapa. Obviamente, los datos de orientación pueden usarse sólo para visualizar norte, sur, este y oeste mediante unos caracteres o flechas.

[2. Método]

2-1. Flujo global

15 La figura 15 es un diagrama de flujo que ilustra un método de deducción de compensación nueva. La CPU 40 realiza el método de la figura 15 ejecutando el módulo 94 de deducción de compensación cuando se ha hecho una solicitud de actualización de compensación.

2-2. Actualización de la memoria intermedia

20 En la etapa S100, se borran todos los datos magnéticos almacenados en la memoria intermedia, en la que se almacena un conjunto de datos magnéticos (conjunto de datos de la población estadística) que se usa para deducir una compensación nueva. Es decir, en este proceso, se borra un conjunto de datos de la población estadística que se usa para deducir la compensación antigua.

25 En la etapa S102, unos datos magnéticos que se usan para deducir una compensación nueva se introducen como entrada y se almacenan en la memoria intermedia. Cuando una pluralidad de datos magnéticos se introduce como entrada de forma secuencial a partir del sensor 4 magnético sin apenas cambios en la actitud del teléfono 3 móvil, la distancia entre dos datos (o valores) magnéticos introducidos como entrada de forma secuencial es pequeña. El almacenamiento de una pluralidad de datos magnéticos cercanos en una memoria intermedia con una capacidad limitada malgasta recursos de memoria y produce una actualización innecesaria de los procesos de memoria intermedia. Además, si se deduce una compensación nueva basándose en un conjunto de datos magnéticos cercanos, hay una posibilidad de que se deduzca una compensación nueva poco precisa basándose en un conjunto de datos distribuido de manera no uniforme de la población estadística. Si es necesario o no actualizar la memoria intermedia puede definirse de la siguiente manera. Por ejemplo, si la distancia entre los últimos datos magnéticos de entrada y unos datos magnéticos almacenados en la memoria intermedia inmediatamente antes de los últimos datos magnéticos de entrada es menor que un umbral dado, se determina que no es necesario actualizar la memoria intermedia y los últimos datos magnéticos de entrada se descartan sin almacenarse en la memoria intermedia.

35 En la etapa S104, se determina si se ha almacenado o no en la memoria intermedia un número especificado de los datos magnéticos que se precisa para deducir una compensación nueva precisa. Es decir, el número de elementos del conjunto de datos de la población estadística se determina con anterioridad. El ajuste de un pequeño número de elementos del conjunto de datos de la población estadística mejora la respuesta a la solicitud de actualización de compensación. Los procesos de las etapas S102 y S104 se repiten hasta que el número especificado de los datos magnéticos se ha almacenado en la memoria intermedia.

40 2-3. Estimación de la distribución

45 Una vez que el número especificado de los datos magnéticos se ha almacenado en la memoria intermedia, se estima la distribución del conjunto de datos de la población estadística (S106 y S108). La distribución se estima basándose en los valores principales de la distribución. Cuando el conjunto de datos magnéticos se expresa mediante la siguiente ecuación (31), los valores principales de la distribución son los valores propios de una matriz A simétrica que se define mediante las ecuaciones (32), (33), y (34) usando la suma de vectores que se inicia desde un centro (promedio) del conjunto de datos de la población estadística y que finaliza con los datos magnéticos respectivos.

$$q_i = (q_{ix}, q_{iy}, q_{iz}) \quad (i = 0, 1, 2, \dots) \quad \dots \quad (31)$$

$$A = X^T X \quad (32)$$

50 en las que

$$X = \begin{bmatrix} (q_0 - \bar{q})^T \\ (q_1 - \bar{q})^T \\ (q_2 - \bar{q})^T \\ \dots \\ (q_{N-1} - \bar{q})^T \end{bmatrix} \dots (33)$$

$$\bar{q} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} q_i \dots (34)$$

La matriz A puede también volver a escribirse como la ecuación (35).

$$A = \sum_{i=0}^{N-1} (q_i - \bar{q})(q_i - \bar{q})^T \dots (35)$$

5 Sean λ_1 , λ_2 , y λ_3 los valores propios de la matriz A en un orden creciente. Sean u_1 , u_2 , y u_3 unos vectores propios ortogonales entre sí que se corresponden con λ_1 , λ_2 , y λ_3 y que se han normalizado a una longitud de 1. Los intervalos de λ_1 , λ_2 , y λ_3 manejados en esta memoria descriptiva son $\lambda_1 > 0$, $\lambda_2 > 0$, y $\lambda_3 \geq 0$. Cuando dos o más valores propios de la matriz A son cero, es decir, cuando el rango de la matriz A es uno o menos, no hay necesidad de considerarlo debido a que el número de elementos del conjunto de datos de la población estadística es uno o la distribución es una línea perfectamente recta. Cada uno de los valores propios debe ser cero o un número real positivo debido a que la matriz A es, a partir de su definición, una matriz semidefinida positiva.

10 Se estima la distribución del conjunto de datos de la población estadística basándose en la proporción λ_3 / λ_1 del valor propio mínimo con el valor propio máximo y la proporción λ_2 / λ_1 de un valor propio intermedio con el valor propio máximo.

15 En la etapa S106, se determina si la distribución del conjunto de datos de la población estadística es lo bastante tridimensional o no. Concretamente, la determinación es afirmativa cuando la siguiente condición (36) se satisface y negativa cuando no se satisface.

$$\lambda_3 / \lambda_1 > t_1 \quad \text{y} \quad \lambda_2 / \lambda_1 > t_2 \quad \dots (36)$$

20 En este caso, "t₁" y "t₂" son unos valores constantes predeterminados. El cómo ajustar los valores de los valores t₁ y t₂ es una opción de diseño y pueden ajustarse opcionalmente basándose en cómo determinar las características de deducción de la compensación. Cuando se satisface la condición (36), se distribuye el conjunto de datos de la población estadística de forma isótropa a partir del centro del conjunto de datos de la población estadística. La distribución isótropa del conjunto de datos de la población estadística alrededor del centro indica que se distribuye el conjunto de datos de la población estadística uniformemente cerca de una superficie esférica específica.

25 En la etapa S108, se determina si la distribución del conjunto de datos de la población estadística es lo bastante bidimensional o no. Concretamente, la determinación es afirmativa cuando la siguiente condición (37) se satisface y negativa cuando no se satisface.

$$\lambda_3 / \lambda_1 \leq t_1 \quad \text{y} \quad \lambda_2 / \lambda_1 > t_2 \quad \dots (37)$$

30 Cuando la condición (37) se satisface, se distribuye el conjunto de datos de la población estadística de forma isótropa a partir del centro del conjunto de datos de la población estadística en un intervalo restringido cerca de un plano específico. La distribución isótropa del conjunto de datos de la población estadística alrededor del centro en un intervalo restringido cerca de un plano específico indica que el conjunto de datos de la población estadística está distribuido de manera no uniforme cerca de la circunferencia de un círculo de sección de una superficie esférica específica.

35 Cuando la determinación de la etapa S108 es negativa, la distribución del conjunto de datos de la población estadística es sustancialmente unidimensional (es decir, lineal). La distribución sustancialmente lineal del conjunto de datos de la población estadística indica que el conjunto de datos de la población estadística está distribuido de manera no uniforme en un corto arco de un círculo de sección de una superficie esférica específica o en ambos extremos de un diámetro del círculo de sección.

2-4. Deducción de la compensación nueva a través del problema de optimización

40 A continuación se describirá un problema de optimización para deducir una compensación nueva. Cuando el conjunto de datos de la población estadística incluye 4 datos magnéticos no presentes en el mismo plano, una

superficie esférica sobre la que se distribuye el conjunto de datos de la población estadística se especifica de forma única sin el uso de una técnica estadística. Un vector de posición $c = (c_x, c_y, c_z)$ del centro de esta superficie esférica se obtiene resolviendo el sistema de ecuaciones (38). Aunque existen cuatro restricciones de igualdad para tres variables, las ecuaciones (38) deben tener una solución debido a que una de las cuatro restricciones de igualdad es redundante.

5

$$\begin{bmatrix} (q_0 - \bar{q})^T \\ (q_1 - \bar{q})^T \\ (q_2 - \bar{q})^T \\ (q_3 - \bar{q})^T \end{bmatrix} c = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} q_0^T q_0 - R \\ q_1^T q_1 - R \\ q_2^T q_2 - R \\ q_3^T q_3 - R \end{bmatrix} \dots (38)$$

en las que

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} q_i^T q_i \dots (39)$$

Cuando el número de elementos del conjunto de datos de la población estadística es 5 o más, "j" se define mediante la siguiente ecuación (40).

10

$$j = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} q_0^T q_0 - R \\ q_1^T q_1 - R \\ q_2^T q_2 - R \\ \dots \\ q_{N-1}^T q_{N-1} - R \end{bmatrix} \dots (40)$$

En este caso, si el sistema de ecuaciones lineales (41) para "c" tiene una solución, la solución es el centro de una superficie esférica sobre la que se distribuye el conjunto de datos de la población estadística.

$$Xc = j \dots (41)$$

No obstante, si se considera un error de medición intrínseco del sensor 4 magnético de 3D, es prácticamente imposible que las ecuaciones (41) tengan una solución. Se introduce un vector "e" que se define mediante la siguiente ecuación (42) para obtener una solución verosímil a través de una técnica estadística.

$$e = Xc - j \dots (42)$$

una "c" que minimiza $\|e\|_2^2$ (es decir, $e^T e$) puede considerarse que es verosímil como el centro de una superficie esférica más próxima a la distribución del conjunto de datos de la población estadística. Un problema para encontrar el valor "c" que minimiza $\|e\|_2^2$ es un problema de optimización para minimizar una función objetivo de la siguiente ecuación (43) cuando la matriz A es regular.

20

$$\text{Función objetivo: } f(c) = (Xc - j)^T (Xc - j) \rightarrow \text{mín} \dots (43)$$

2-5. Condición de restricción cuando la distribución es bidimensional

Tal como se muestra en la figura 16, cuando la distribución del conjunto de datos de la población estadística es bidimensional (es decir, plana), se deduce una compensación nueva restringiendo las direcciones en las que se corrige la compensación antigua a dos direcciones ortogonales (S112). Cuando se distribuye el conjunto de datos de la población estadística cerca de un plano específico y la distribución es discreta en una dirección normal al plano, la distribución del conjunto de datos de la población estadística en una dirección paralela al plano es lo bastante fiable mientras que la distribución del conjunto de datos de la población estadística en la dirección normal al plano es poco fiable. En este caso, la compensación antigua no se corrige en la dirección normal al plano, evitando de este modo que la compensación se actualice basándose en una información poco fiable.

30

Cuando se distribuye el conjunto de datos de la población estadística cerca de un plano específico y la distribución es discreta en una dirección normal al plano, la dirección normal al plano es coincidente con la dirección de un vector propio u_3 que se corresponde con el valor λ_3 propio mínimo y las direcciones ortogonales paralelas al plano son coincidentes con las direcciones de los vectores u_1 y u_2 propios que se corresponden respectivamente con el valor λ_1 propio máximo y el valor λ_2 propio intermedio. Por consiguiente, con el fin de deducir una compensación

35

nueva sin corregir la compensación antigua en la dirección normal al plano, una compensación c nueva que minimiza la función objetivo de la ecuación (43) se obtiene con una condición de restricción que se expresa mediante la siguiente ecuación (44).

$$c = c_0 + \beta_1 \cdot u_1 + \beta_2 \cdot u_2 \quad (\beta_1, \beta_2: \text{números reales}) \quad \dots \quad (44)$$

5 La ecuación (44) es equivalente a la siguiente ecuación (45).

$$u_3^T (c - c_0) = 0 \quad \dots \quad (45)$$

La ecuación para resolver el problema de optimización de la ecuación (43) con la condición de restricción de la ecuación (45) puede transformarse en su sistema de ecuaciones equivalente usando el procedimiento de los multiplicadores de Lagrange. Cuando se introduce un multiplicador p constante no conocido y se determina "x" mediante la siguiente ecuación (46), el sistema de ecuaciones lineales (47) de "x" es el sistema de ecuaciones que se menciona anteriormente.

10

$$x = \begin{bmatrix} c \\ \rho \end{bmatrix} \quad \dots \quad (46)$$

$$B_4 x = b_4 \quad \dots \quad (47)$$

en el que

$$B_4 = \begin{bmatrix} 2A & u_3 \\ u_3^T & 0 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (48)$$

$$b_4 = \begin{bmatrix} 2X^T j \\ u_3^T c_0 \end{bmatrix} \quad \dots \quad (49)$$

15 Tal como puede entenderse a partir de la descripción anterior, si la distribución del conjunto de datos de la población estadística es bidimensional, el proceso para deducir la compensación nueva en la etapa S112 es resolver el sistema de ecuaciones lineales (47). La solución "x" debe especificarse de forma única debido a que el rango de la matriz B_4 debe de ser 4.

2-6. Condición de restricción cuando la distribución es sustancialmente unidimensional

20 Tal como se muestra en la figura 17, cuando la distribución del conjunto de datos de la población estadística es sustancialmente unidimensional (es decir, lineal), se deduce una compensación nueva restringiendo las direcciones en las que se corrige la compensación antigua a una dirección principal de la distribución (S110). Cuando se distribuye el conjunto de datos de la población estadística cerca de una recta específica y la distribución es discreta en la dirección de la recta, la distribución del conjunto de datos de la población estadística en la dirección de la línea recta es lo bastante fiable mientras que la distribución del conjunto de datos de la población estadística en otras direcciones es poco fiable. En este caso, la compensación antigua no se corrige en unas direcciones que no sean la dirección de la recta, evitando de este modo que la compensación se actualice basándose en una información poco fiable.

30 Cuando se distribuye el conjunto de datos de la población estadística cerca de una recta específica y la distribución es discreta en la dirección de la recta, la dirección de la recta es coincidente con la dirección de un vector u_1 propio que se corresponde con el valor propio máximo λ_1 y las otras direcciones son coincidentes con las direcciones de los vectores u_2 y u_3 propios que se corresponden respectivamente con el valor λ_2 propio intermedio y el valor λ_3 propio mínimo. Por consiguiente, con el fin de deducir una compensación nueva sólo en la dirección de la recta, una compensación c nueva que minimiza la función objetivo de la ecuación (43) se obtiene con una condición de restricción que se expresa mediante la siguiente ecuación (50).

35

$$c = c_0 + \beta_1 \cdot u_1 \quad \dots \quad (50)$$

La ecuación (50) es equivalente a las siguientes ecuaciones (51).

$$u_2^T (c - c_0) = 0 \quad y \quad u_3^T (c - c_0) = 0 \quad \dots \quad (51)$$

La ecuación para resolver el problema de optimización de la ecuación (43) con la condición de restricción de la ecuación (51) puede transformarse en su sistema de ecuaciones equivalente usando el procedimiento de los multiplicadores de Lagrange. Cuando se introducen los multiplicadores constantes no conocidos ρ_1 y ρ_2 y se determina "x" mediante la siguiente ecuación (52), el sistema de ecuaciones lineales (53) de "x" es el sistema de ecuaciones que se menciona anteriormente.

5

$$x = \begin{bmatrix} c \\ \rho_1 \\ \rho_2 \end{bmatrix} \dots (52)$$

$$B_5 x = b_5 \dots (53)$$

en el que

$$B_5 = \begin{bmatrix} 2A & u_2 & u_3 \\ u_2^T & 0 & 0 \\ u_3^T & 0 & 0 \end{bmatrix} \dots (54)$$

$$b_5 = \begin{bmatrix} 2X^T j \\ u_2^T c_0 \\ u_3^T c_0 \end{bmatrix} \dots (55)$$

10 Tal como puede entenderse a partir de la descripción anterior, si la distribución del conjunto de datos de la población estadística es sustancialmente unidimensional, el proceso para deducir la compensación nueva en la etapa S110 es resolver el sistema de ecuaciones lineales (53). La solución "x" debe especificarse de forma única debido a que el rango de la matriz B_5 debe de ser 5.

2-7. Dedución de la compensación nueva cuando la distribución es tridimensional

15 Cuando la distribución es tridimensional, se deduce una compensación nueva sin restringir las direcciones en las que se corrige la compensación antigua (S114). Cuando la distribución es tridimensional, es decir, si se distribuye el conjunto de datos de la población estadística en todas las direcciones en un grado determinado cuando se ve a partir del centro del conjunto de datos de la población estadística, el conjunto de datos de la población estadística es lo bastante fiable en todas las direcciones. Por consiguiente, en este caso, para deducir la compensación nueva, no es necesario usar la compensación antigua y de este modo la compensación nueva puede deducirse basándose en el conjunto de datos de la población estadística sin el uso de la compensación antigua. Un algoritmo para deducir una compensación nueva basándose en el conjunto de datos de la población estadística sin el uso de la compensación antigua puede ser un algoritmo que use una de una variedad de técnicas estadísticas que se han propuesto y puede ser también un algoritmo que no use una técnica estadística tal como se describe en las solicitudes de patente de Japón n.ºs. 2005 - 337412 y 2006 - 44289 que ya ha presentado el presente solicitante.

20 En esta realización, se deduce una compensación nueva usando una técnica estadística. Es decir, en la etapa S114, la compensación nueva "c" se deduce como una solución para el problema de optimización para minimizar la función objetivo de la ecuación (43) sin ninguna condición de restricción.

2-8. Resumen

30 Los procesos de las etapas S110, S112, y S114 se describirán a continuación usando conceptos espaciales con referencia a las figuras 1, 6, y 7. Si se supone que el conjunto de datos de la población estadística es completamente fiable, la compensación c nueva se define mediante la siguiente ecuación (56) considerando la compensación c nueva como la suma de la compensación c_0 antigua y un vector g de posición del centro de una superficie esférica, que se deduce sólo a partir del conjunto de datos de la población estadística, en relación con la compensación c_0 antigua.

35

$$c = c_0 + g \dots (56)$$

El vector g de posición que se deduce como una solución para el problema de optimización para minimizar la función objetivo de la ecuación (43) sin ninguna condición de restricción es una combinación lineal de los vectores fundamentales en las mismas direcciones que los vectores u_1 , u_2 , y u_3 propios de la distribución. Por lo tanto, un vector de corrección "f", que se corresponde con un vector corregido a partir del vector de posición "g" de acuerdo

40

con los grados de fiabilidad respectivos de las componentes del vector de posición "g", puede obtenerse ponderando unos coeficientes g_α , g_β , y g_γ del vector de posición "g" de acuerdo con los grados de fiabilidad respectivos del conjunto de datos de la población estadística en las direcciones de eje principal correspondientes (véase la figura 11).

- 5 En el proceso de la etapa S112 que se realiza cuando la distribución del conjunto de datos de la población estadística es bidimensional tal como se muestra en la figura 16, se impone la siguiente condición de restricción al deducir una compensación nueva basándose en la compensación c_0 antigua y el conjunto de datos de la población estadística. La condición de restricción es que la compensación c nueva se obtenga como la suma de la compensación c_0 antigua y un vector de corrección "f" que se obtiene ponderando tanto un coeficiente g_α del vector de posición "g" en una dirección de eje principal de la distribución que se corresponde con el valor principal máximo de la distribución (es decir, que se corresponde con el valor λ_1 propio máximo) como un coeficiente g_β en una dirección de eje principal de la distribución que se corresponde con el valor principal intermedio de la distribución (es decir, que se corresponde con el valor λ_2 propio intermedio) por un factor de ponderación de "1" del vector de posición "g" y ponderando un coeficiente g_γ en una dirección de eje principal de la distribución que se corresponde con el valor principal mínimo de la distribución (es decir, que se corresponde con el valor λ_3 propio mínimo) por un factor de ponderación de "0" del vector de posición "g".

- 20 En el proceso de la etapa S110 que se realiza cuando la distribución del conjunto de datos de la población estadística es sustancialmente unidimensional tal como se muestra en la figura 17, se impone la siguiente condición de restricción al deducir una compensación nueva basándose en la compensación c_0 antigua y el conjunto de datos de la población estadística. La condición de restricción es que la compensación c nueva se obtenga como la suma de la compensación c_0 antigua y un vector de corrección "f" que se obtiene ponderando un coeficiente g_α del vector de posición "g" en una dirección de eje principal (o a dirección principal) de la distribución que se corresponde con el valor principal máximo de la distribución (es decir, que se corresponde con el valor λ_1 propio máximo) por un factor de ponderación de "1" del vector de posición "g" y ponderando tanto un coeficiente g_β en una dirección de eje principal de la distribución que se corresponde con el valor principal intermedio de la distribución (es decir, que se corresponde con el valor λ_2 propio intermedio) y un coeficiente g_γ en una dirección de eje principal de la distribución que se corresponde con el valor principal mínimo de la distribución (es decir, que se corresponde con el valor λ_3 propio mínimo) por un factor de ponderación de "0" del vector de posición "g".

- 30 En el proceso de la etapa S110 que se realiza cuando la distribución del conjunto de datos de la población estadística es tridimensional, no se impone ninguna condición de restricción específica. Es decir, en la etapa S110, la compensación c nueva se obtiene como la suma de la compensación c_0 antigua y el vector de posición "g" que se obtiene como una solución para el problema de optimización para minimizar la función objetivo de la ecuación (43) sin ninguna condición de restricción.

B. Segunda realización

- 35 * Visión de conjunto

- 40 En la primera realización, se estima la distribución del conjunto de datos de la población estadística de forma discreta y, cuando la distribución es bidimensional, la compensación nueva "c" se deduce ajustando la componente del vector de corrección "f" a cero en la dirección de eje principal en la que el valor principal es el valor mínimo y, cuando la distribución es unidimensional, la compensación nueva "c" se deduce ajustando las componentes del vector de corrección "f" a cero en las dos direcciones de eje principal en las que los valores principales son los valores intermedio y mínimo. En la segunda realización, se dará una descripción de un algoritmo sencillo y muy preciso que puede eliminar la necesidad de realizar procesos diferentes de acuerdo con unas estimaciones de la distribución tal como en la primera realización y que puede también deducir una compensación nueva más probable usando eficientemente el conjunto de datos de la población estadística.

- 45 La figura 18 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso de deducción de compensación nueva. De la misma forma que en la primera realización, la CPU 40 realiza el método de la figura 18 ejecutando el módulo 94 de deducción de compensación cuando se ha hecho una solicitud de actualización de compensación. El proceso de la etapa S200 es el mismo que el proceso de la etapa S100 que se describió anteriormente en la primera realización. El proceso de la etapa S202 es el mismo que el proceso de la etapa S102 que se describió anteriormente en la primera realización. El proceso de la etapa S204 es el mismo que el proceso de la etapa S104 que se describió anteriormente en la primera realización.

• Estimación de la distribución

- 55 En la etapa S206, se deducen unos indicadores de distribución del conjunto de datos de la población estadística. Es decir, se estima la distribución del conjunto de datos de la población estadística como valores continuos deduciendo, tal como unos indicadores de distribución, unos m_2 y m_3 que se definen mediante las siguientes ecuaciones (57) y (58).

$$m_2 = 1 - \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^{k_2} \dots (57)$$

$$m_3 = 1 - \left(\frac{\lambda_3}{\lambda_1} \right)^{k_3} \dots (58)$$

En este caso, "k₂" y "k₃" son unos números constantes positivos predeterminados. Los valores de k₂ y k₃ determinan la asociación entre los valores principales y los grados de fiabilidad de direcciones de eje principal correspondientes del conjunto de datos de la población estadística. En este caso, "m₂" y "m₃" deben satisfacer las siguientes condiciones (59).

$$0 \leq m_2 \leq 1 \quad \text{y} \quad 0 \leq m_3 \leq 1 \quad \dots (59)$$

Los valores de los coeficientes k₂ y k₃ se determinan de forma adecuada de acuerdo con las realizaciones de la invención, debido a que el efecto de la ponderación depende de los valores de los coeficientes k₂ y k₃. En caso de que el sensor magnético se monte en un objeto portátil tal como una PDA y un teléfono portátil que cambia su postura con una velocidad angular relativamente rápida, se espera que una distribución de un grupo de datos magnéticos acumulado en un intervalo de tiempo predeterminado se haga relativamente abierta como promedio. En caso de que la distribución de los datos magnéticos no sea tan abierta, la precisión de la compensación se degradaría bastante si la corrección de compensación se llevara a cabo ponderando de manera significativa el grupo de datos magnéticos de la dirección de eje principal que tiene el valor principal pequeño debido a que un grupo de datos de este tipo tiene una baja fiabilidad. Por lo tanto, en caso de que la invención se aplique a un objeto portátil en el que la distribución del grupo de datos magnéticos tienda a hacerse abierta, los valores de los coeficientes k₂ y k₃ deberían ajustarse de modo que el grupo de datos magnéticos de la dirección de eje principal que tiene el valor principal pequeño se evalúe con un peso considerable sólo cuando la distribución de los datos magnéticos sea considerablemente abierta.

Por otra parte, en caso de que el sensor magnético se monte en un objeto en movimiento tal como un vehículo que cambia su postura con una velocidad angular relativamente baja, se espera que una distribución de un grupo de datos magnéticos acumulado en un intervalo de tiempo predeterminado se haga relativamente compacta como promedio. La precisión de la compensación no se mejorará si la corrección de compensación se lleva a cabo mientras el grupo de datos magnéticos de la dirección de eje principal que tiene el valor principal pequeño no se evalúa con un peso considerable aunque un grupo de datos magnéticos de este tipo no es tan fiable, cuando la distribución de los datos magnéticos no es tan abierta. Por lo tanto, en caso de que la invención se aplique a un objeto en movimiento en el que la distribución del grupo de datos magnéticos tiende a hacerse compacta, los valores de los coeficientes k₂ y k₃ deberían ajustarse de modo que el grupo de datos magnéticos de la dirección de eje principal que tiene el valor principal pequeño se evalúa con un peso considerable incluso cuando la distribución de los datos magnéticos es compacta.

El concepto espacial de m₂ y m₃ se describirá a continuación con referencia a la figura 11. Cuando los coeficientes de las componentes del vector g de posición en las direcciones de eje principal de la distribución se indican mediante g_α, g_β, y g_γ en un orden decreciente de los valores principales correspondientes y los coeficientes de las componentes del vector f de posición en las direcciones de eje principal de la distribución se indican mediante f_α, f_β, y f_γ en un orden decreciente de los valores principales correspondientes, las relaciones entre el vector g de posición, el vector f de corrección, y m₂ y m₃ se expresan mediante las siguientes ecuaciones (60), (61), y (62).

$$\frac{f_\alpha}{g_\alpha} = 1 \dots (60)$$

$$\frac{f_\beta}{g_\beta} = \frac{\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) m_2 - \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)}{\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) m_2 - \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) - m_2^2} \dots (61)$$

$$\frac{f_y}{g_y} = \frac{\left(\frac{\lambda_3}{\lambda_1}\right) m_3 - \left(\frac{\lambda_3}{\lambda_1}\right)}{\left(\frac{\lambda_3}{\lambda_1}\right) m_3 - \left(\frac{\lambda_3}{\lambda_1}\right) - m_3^2} \dots (62)$$

Las ecuaciones de relación determinados de tal forma que los factores de ponderación se corresponden continuamente con las proporciones de los valores principales no se limitan a las ecuaciones (60), (61), y (62). Además, el factor f_α/g_α de ponderación asociado con la componente de la dirección de eje principal que se corresponde con el valor principal máximo puede ajustarse para ser inferior a "1".

• Deducción de la compensación nueva

Cuando es difícil deducir una solución para el problema de optimización con una condición de restricción específica, puede introducirse un problema de relajación para resolver el problema de optimización relajando la condición de restricción. Aplicando este problema de relajación, esta realización lleva a cabo un proceso para deducir una compensación c nueva como la suma de la compensación c_0 antigua y un vector f de corrección que se obtiene ponderando los coeficientes g_α , g_β , y g_γ del vector g de posición (véase la figura 11) que se describió anteriormente ponderando unos factores que se corresponden continuamente con las proporciones de los valores principales de la distribución del conjunto de datos de la población estadística. Lo siguiente son detalles de este proceso.

Se definen unos multiplicadores ρ_1 y ρ_2 constantes no conocidos como las variables que se requieren para los cálculos durante el proceso y c , ρ_1 , y ρ_2 se agrupan conjuntamente en un vector "x" que se define mediante la siguiente ecuación (63).

$$x = \begin{bmatrix} c \\ \rho_1 \\ \rho_2 \end{bmatrix} \dots (63)$$

Además, una matriz "B" se define mediante la ecuación (64) y un vector "b" se define mediante la ecuación (65).

$$B = \begin{bmatrix} 2A & m_2 u_2 & m_3 u_3 \\ m_2 u_2^T & \frac{1}{2\lambda_1}(m_2 - 1) & 0 \\ m_3 u_3^T & 0 & \frac{1}{2\lambda_1}(m_3 - 1) \end{bmatrix} \dots (64)$$

El proceso para deducir una compensación nueva en la etapa S208 es encontrar una solución para el siguiente sistema de ecuaciones (36). El vector x se especifica de forma única debido a que la matriz B debe de ser regular.

$$b = \begin{bmatrix} 2X^T j \\ m_2 u_2^T c_0 \\ m_3 u_3^T c_0 \end{bmatrix} \dots (65)$$

Encontrar una solución para el sistema de ecuaciones (66) es equivalente a resolver el problema de optimización para minimizar la función objetivo de la ecuación (43) con una condición de restricción de que una compensación nueva se obtenga como la suma de la compensación c_0 antigua y un vector f de corrección cuyas componentes son unos valores que se obtienen ponderando los coeficientes del vector g de posición en las direcciones de eje principal de la distribución que se corresponde con los valores principales mediante unos factores f_α/g_α , f_β/g_β , y f_γ/g_γ que se corresponden continuamente con las proporciones de los valores principales de la distribución del conjunto de datos de la población estadística.

En la segunda realización, es sencillo desarrollar o mejorar el módulo 94 de deducción de compensación y el tamaño de los datos del módulo 94 de deducción de compensación se disminuye también debido a que no hay necesidad de ramificar el proceso de deducción de compensación nueva de acuerdo con la distribución del conjunto

5 de datos de la población estadística tal como se describió anteriormente. Además, la segunda realización aumenta la eficiencia en cuanto al uso con la que el módulo 94 de deducción de compensación usa el conjunto de datos de la población estadística y también permite que el módulo de deducción de orientación corrija los datos magnéticos usando la compensación más probable debido a que la compensación antigua puede corregirse en las direcciones de eje principal de la distribución mediante unas distancias que se corresponden continuamente con las proporciones de los valores principales del conjunto de datos de la población estadística a menos que alguno de los valores principales sea cero.

C. Otras realizaciones

10 El segundo aspecto de la presente invención no está limitado a las realizaciones anteriores y son posibles diversas realizaciones sin alejarse del alcance de las presentes reivindicaciones. Por ejemplo, la presente invención puede aplicarse también a un sensor magnético que se monta en una PDA o un sensor magnético que se monta en un vehículo.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de procesamiento de datos magnéticos que comprende:

5 medios de entrada para introducir como entrada de forma secuencial unos datos magnéticos que se emiten como salida a partir de un sensor magnético tridimensional, de 3D, siendo los datos magnéticos unos datos de vector de 3D que son una combinación lineal de un conjunto de unos primeros vectores fundamentales; medios de almacenamiento para almacenar una pluralidad de los datos magnéticos introducidos como entrada como un conjunto de datos de la población estadística con el fin de actualizar una compensación antigua de los datos magnéticos con una compensación nueva; y
 10 medios de deducción de compensación para deducir la compensación nueva basándose en la compensación antigua y en el conjunto de datos de una población estadística que se determina en unas direcciones de eje principal, en el que se estima que unos datos magnéticos distribuidos en una dirección de eje principal con una varianza más grande son unos elementos más significativos de la población estadística en la actualización de la compensación, y se estima que unos datos magnéticos distribuidos en otra dirección de eje principal con una varianza más pequeña son unos elementos menos significativos de la población estadística en la actualización de la compensación.

2. El dispositivo de procesamiento de datos magnéticos de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los medios de deducción de compensación deducen la compensación nueva basándose en la compensación antigua y un vector de corrección que se deduce a partir del conjunto de datos de la población estadística, teniendo el vector de corrección una componente en una dirección de eje principal en la que el conjunto de datos de la población estadística tiene una varianza grande, y otra componente en otra dirección de eje principal en la que el conjunto de datos de la población estadística tiene una varianza pequeña más pequeña que la varianza grande, ponderándose dicha componente como mayor que dicha otra componente.

3. El dispositivo de procesamiento de datos magnéticos de acuerdo con la reivindicación 2, en el que los medios de deducción de compensación deducen la compensación nueva basándose en la compensación antigua y en el conjunto de datos de la población estadística con una condición de restricción de que la compensación nueva se obtenga como la suma de la compensación antigua y un vector de corrección,

en el que el vector de corrección es una combinación lineal de un conjunto de segundos vectores fundamentales que se definen en unas direcciones de eje principal de la distribución del conjunto de datos de la población estadística, y unos coeficientes respectivos de la combinación lineal de los segundos vectores fundamentales que representan el vector de corrección se obtienen ponderando unos coeficientes respectivos de un vector de posición de una compensación temporal en relación con la compensación antigua de acuerdo con unas proporciones de unos valores principales de la distribución del conjunto de datos de la población estadística, deduciéndose la compensación temporal a partir del conjunto de datos de la población estadística sin el uso de la compensación antigua, siendo el vector de posición de la compensación temporal una combinación lineal de los segundos vectores fundamentales.

4. El dispositivo de procesamiento de datos magnéticos de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la condición de restricción es que un factor de ponderación del vector de posición para el coeficiente de uno de los segundos vectores fundamentales en una de las direcciones de eje principal que se corresponde con uno mínimo de los valores principales sea cero si una proporción de uno intermedio de los valores principales con uno máximo de los valores principales es más alta que un primer umbral y una proporción del valor principal mínimo con el valor principal máximo es igual a o menor que un segundo umbral, y que unos factores de ponderación respectivos del vector de posición para el coeficiente del segundo vector fundamental en la dirección de eje principal que se corresponde con el valor principal mínimo y el coeficiente de otro de los segundos vectores fundamentales en una de las direcciones de eje principal que se corresponde con el valor principal intermedio sea cero si la proporción del valor principal intermedio con el valor principal máximo es igual a o menor que el primer umbral y la proporción del valor principal mínimo con el valor principal máximo es igual a o menor que el segundo umbral.

5. El dispositivo de procesamiento de datos magnéticos de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la condición de restricción es que los coeficientes del vector de corrección sean unos valores que se obtienen ponderando los coeficientes del vector de posición con unos factores de ponderación que se corresponden continuamente con unas proporciones de los valores principales de la distribución del conjunto de datos de la población estadística.

6. El dispositivo de procesamiento de datos magnéticos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el que los factores de ponderación respectivos para los coeficientes del vector de posición se normalizan con referencia al factor de ponderación que está destinado al coeficiente del segundo vector fundamental en la dirección de eje principal que se corresponde con el valor principal máximo y que se ajusta a uno.

7. El dispositivo de procesamiento de datos magnéticos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6, en el que los medios de deducción de compensación deducen un valor "c" que minimiza la siguiente función f(c) objetivo con la condición de restricción:

$$f(c) = (Xc - j)^T (Xc - j),$$

en la que "X" y "j" son tal como se indica a continuación cuando los datos magnéticos se representan mediante $q_i = (q_{ix}, q_{iy}, q_{iz})$ ($i = 0, 1, 2, \dots$):

$$X = \begin{bmatrix} (q_0 - \bar{q})^T \\ (q_1 - \bar{q})^T \\ (q_2 - \bar{q})^T \\ \dots \\ (q_{N-1} - \bar{q})^T \end{bmatrix} \quad j = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} q_0^T q_0 - R \\ q_1^T q_1 - R \\ q_2^T q_2 - R \\ \dots \\ q_{N-1}^T q_{N-1} - R \end{bmatrix}$$

5 en la que

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} q_i^T q_i$$

8. Un aparato de medición magnética que comprende:

el dispositivo de procesamiento de datos magnéticos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 7; y el sensor magnético de 3D.

10 9. Un procedimiento de procesamiento de datos magnéticos que comprende:

introducir como entrada de forma secuencial unos datos magnéticos que se emiten como salida a partir de un sensor magnético tridimensional, de 3D, siendo los datos magnéticos unos datos de vector de 3D que son una combinación lineal de un conjunto de unos primeros vectores fundamentales;

15 almacenar una pluralidad de los datos magnéticos introducidos como entrada como un conjunto de datos de la población estadística con el fin de actualizar una compensación antigua de los datos magnéticos con una compensación nueva; y

deducir la compensación nueva basándose en la compensación antigua y en el conjunto de datos de la población estadística que se define mediante las direcciones de eje principal, en el que

20 se estima que unos datos magnéticos distribuidos en una dirección de eje principal con una varianza más grande son unos elementos más significativos de la población estadística en la actualización de la compensación, y se estima que unos datos magnéticos distribuidos en otra dirección de eje principal con una varianza más pequeña son unos elementos menos significativos de la población estadística en la actualización de la compensación.

25 10. En una portadora de datos, un programa de procesamiento de datos magnéticos configurado para permitir que un ordenador funcione tal como:

medios de entrada para introducir como entrada de forma secuencial unos datos magnéticos que se emiten como salida a partir de un sensor magnético tridimensional, de 3D, siendo los datos magnéticos unos datos de vector de 3D que son una combinación lineal de un conjunto de unos primeros vectores fundamentales;

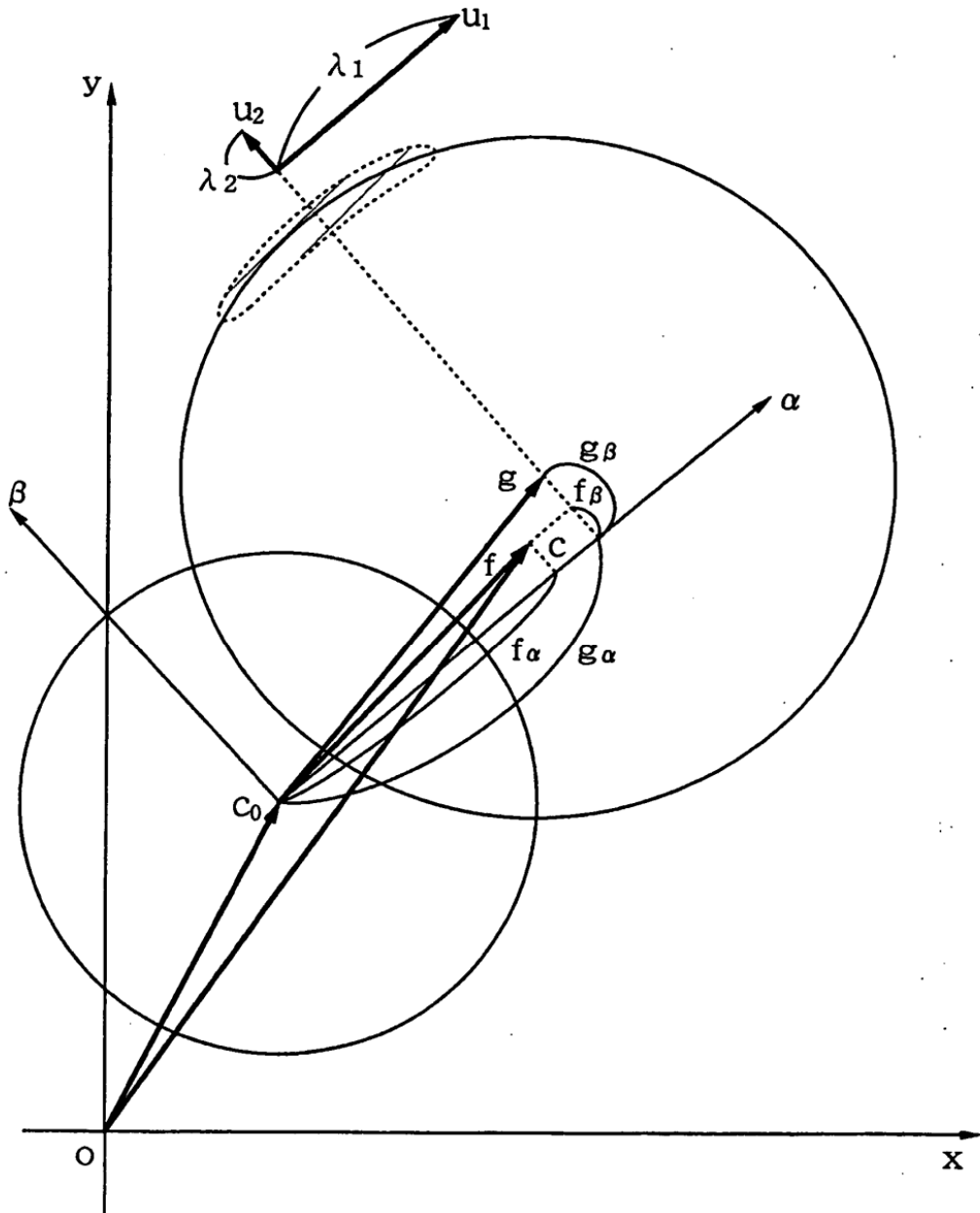
30 medios de almacenamiento para almacenar una pluralidad de los datos magnéticos introducidos como entrada como un conjunto de datos de la población estadística con el fin de actualizar una compensación antigua de los datos magnéticos con una compensación nueva; y

medios de deducción de compensación para deducir la compensación nueva basándose en la compensación antigua y en el conjunto de datos de la población estadística que se define mediante las direcciones de eje principal, en el que

35 se estima que unos datos magnéticos distribuidos en una dirección de eje principal con una varianza más grande son unos elementos más significativos de la población estadística en la actualización de la compensación, y se estima que unos datos magnéticos distribuidos en otra dirección de eje principal con una varianza más pequeña son unos elementos menos significativos de la población estadística en la actualización de la compensación.

40

FIG.1




 INTERVALO DE DISTRIBUCIÓN DE DATOS MAGNÉTICOS

FIG.2

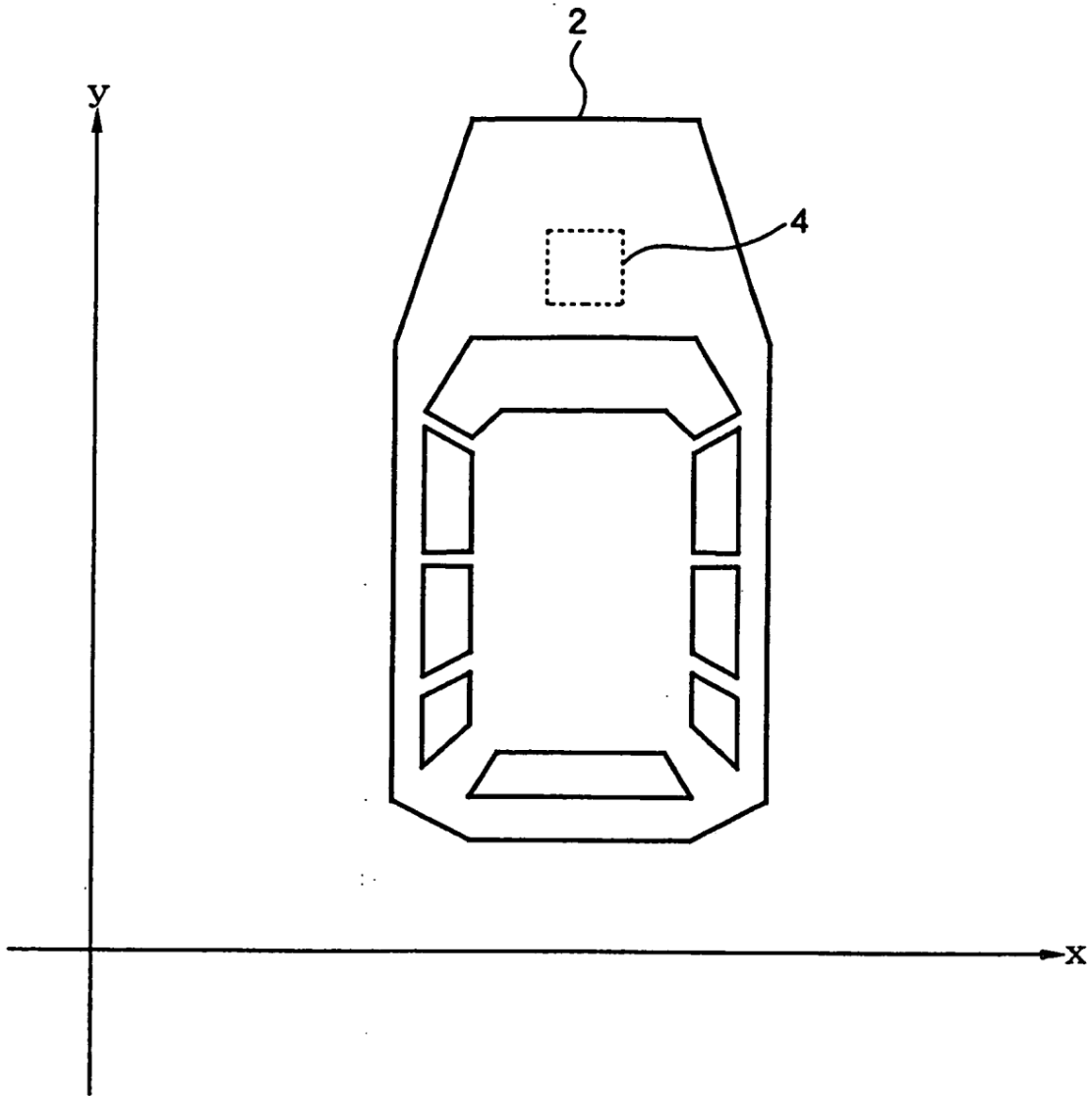


FIG.3

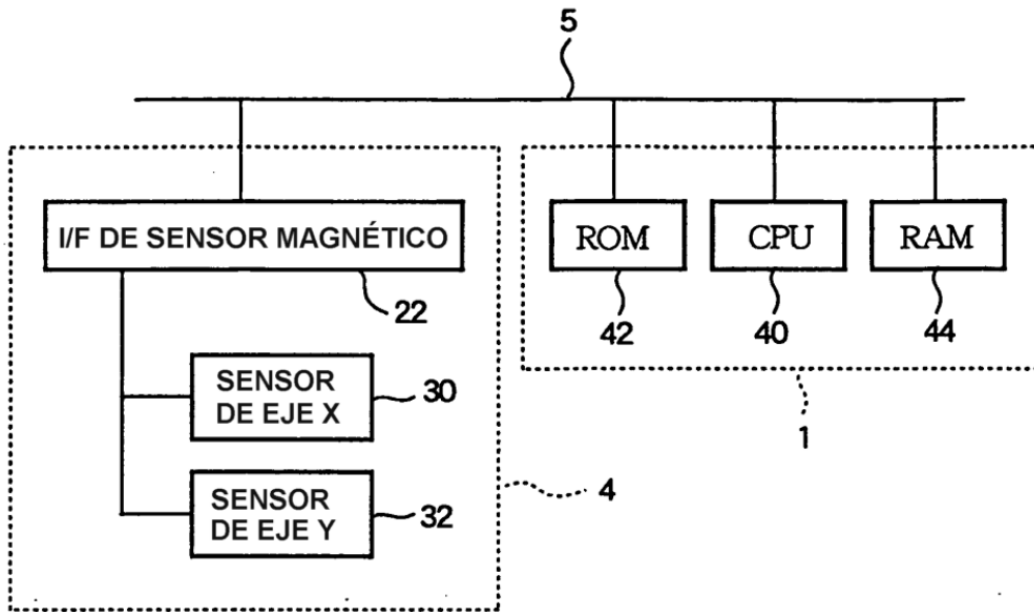


FIG.4

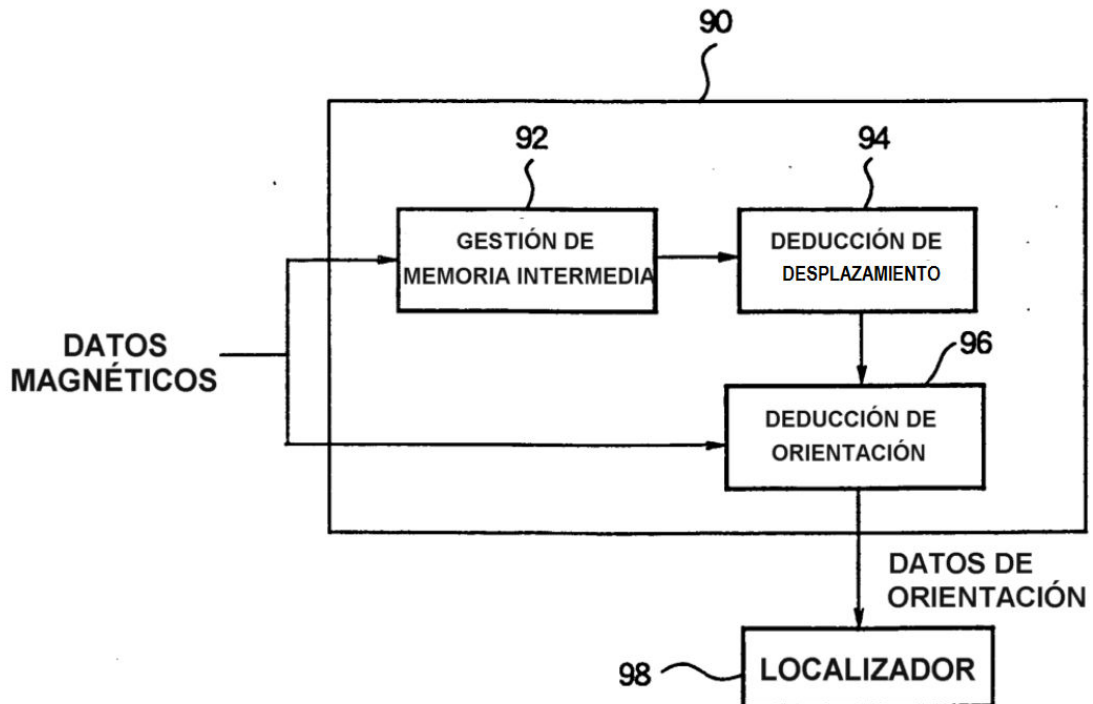


FIG.5

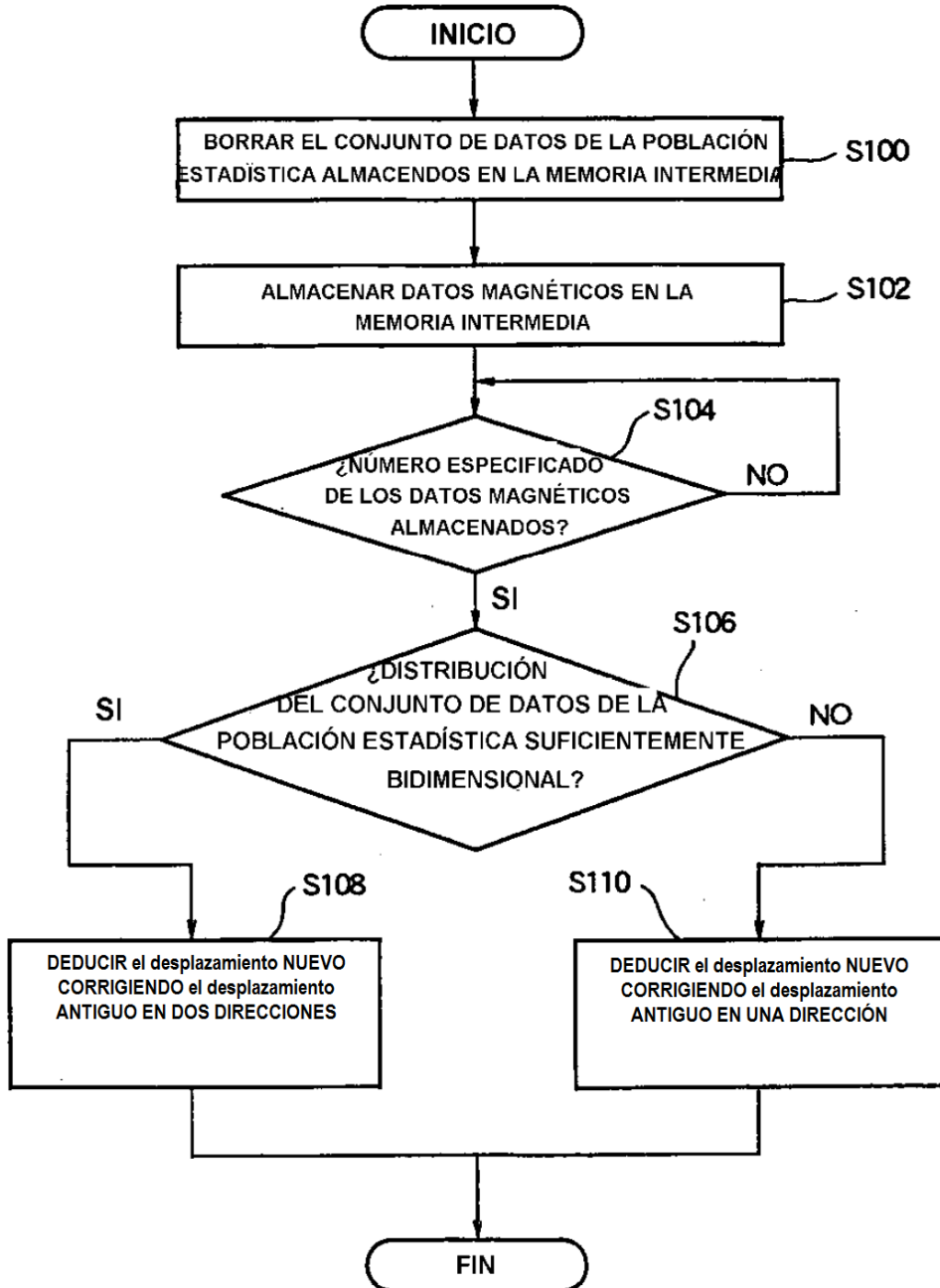
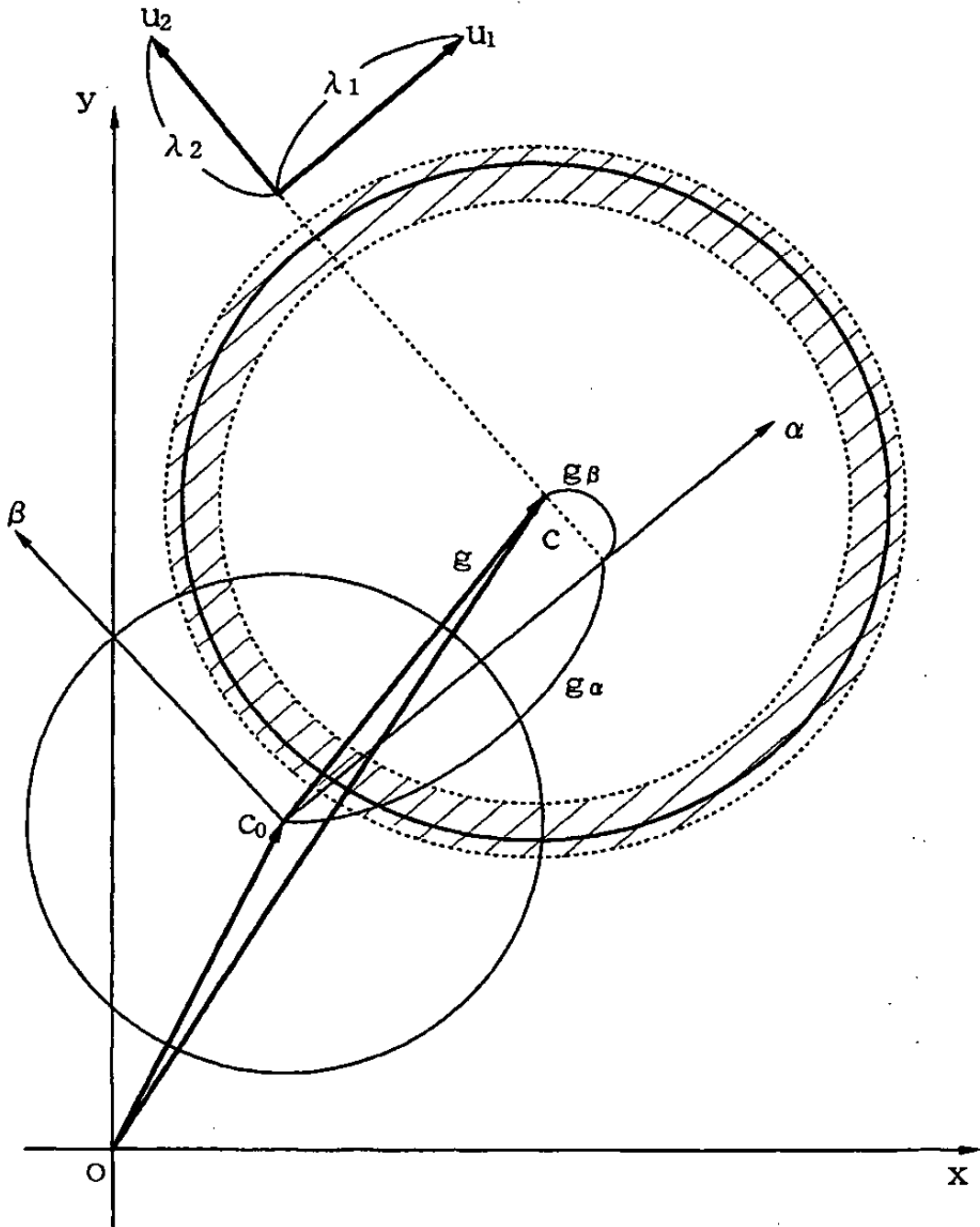


FIG.6



 INTERVALO DE DISTRIBUCIÓN DE DATOS MAGNÉTICOS

FIG.8

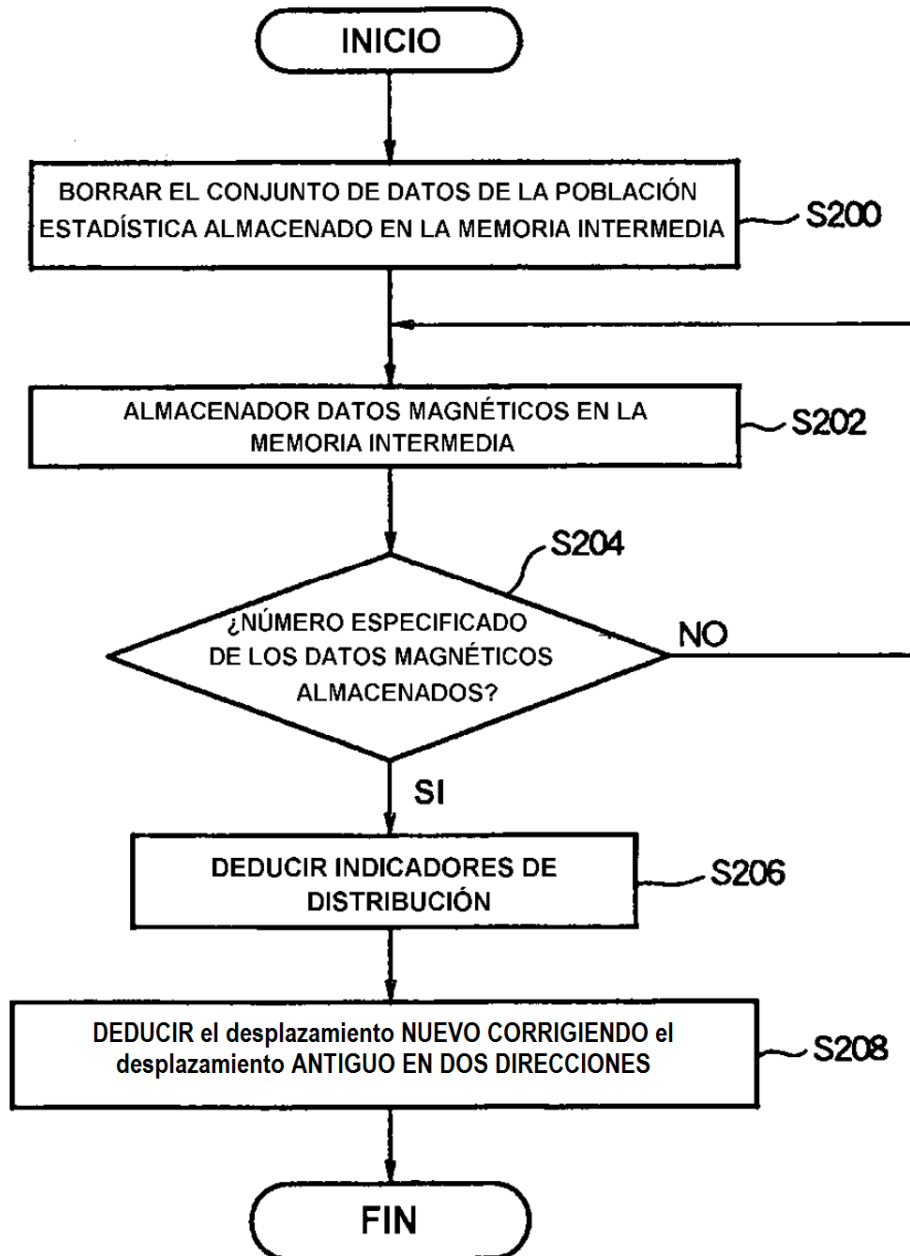


FIG.9

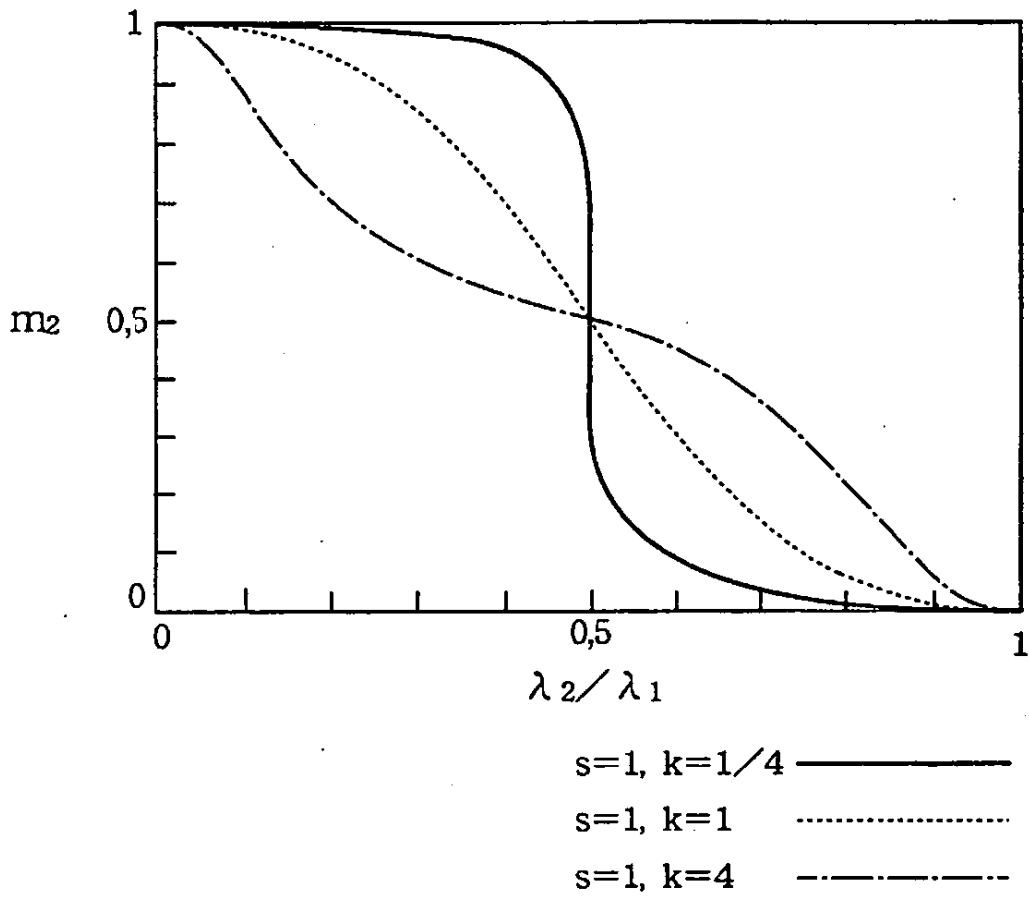


FIG.10

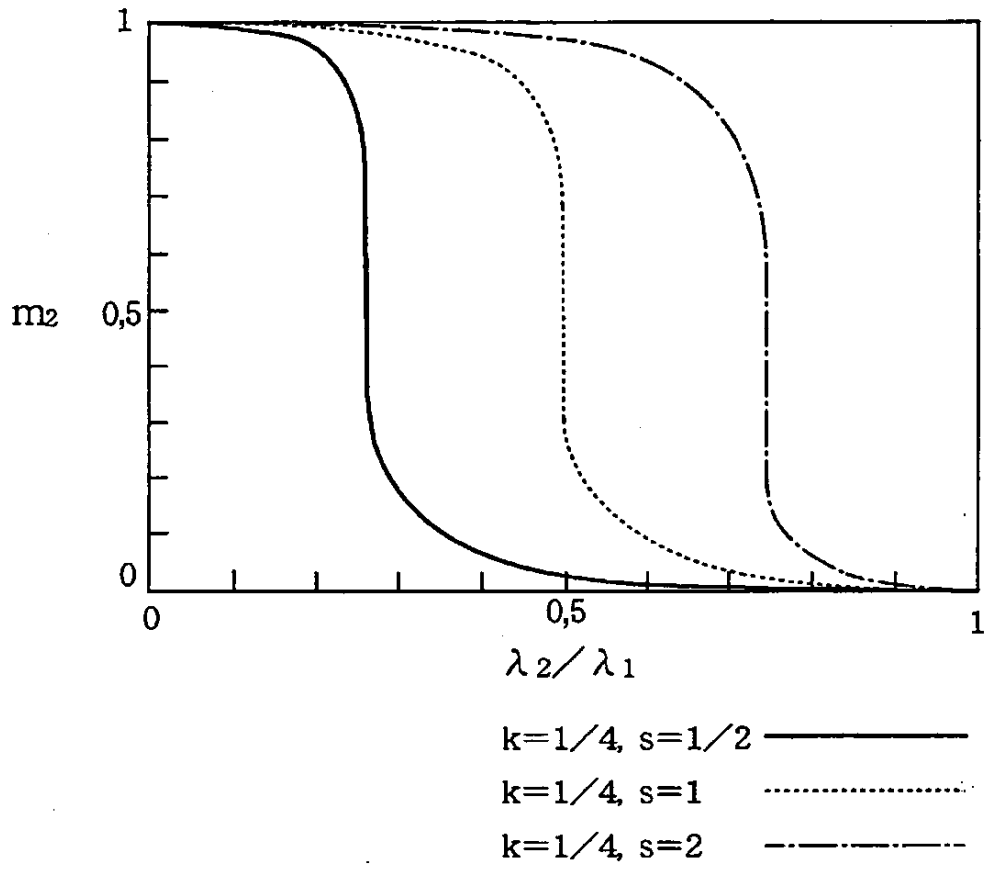


FIG.11

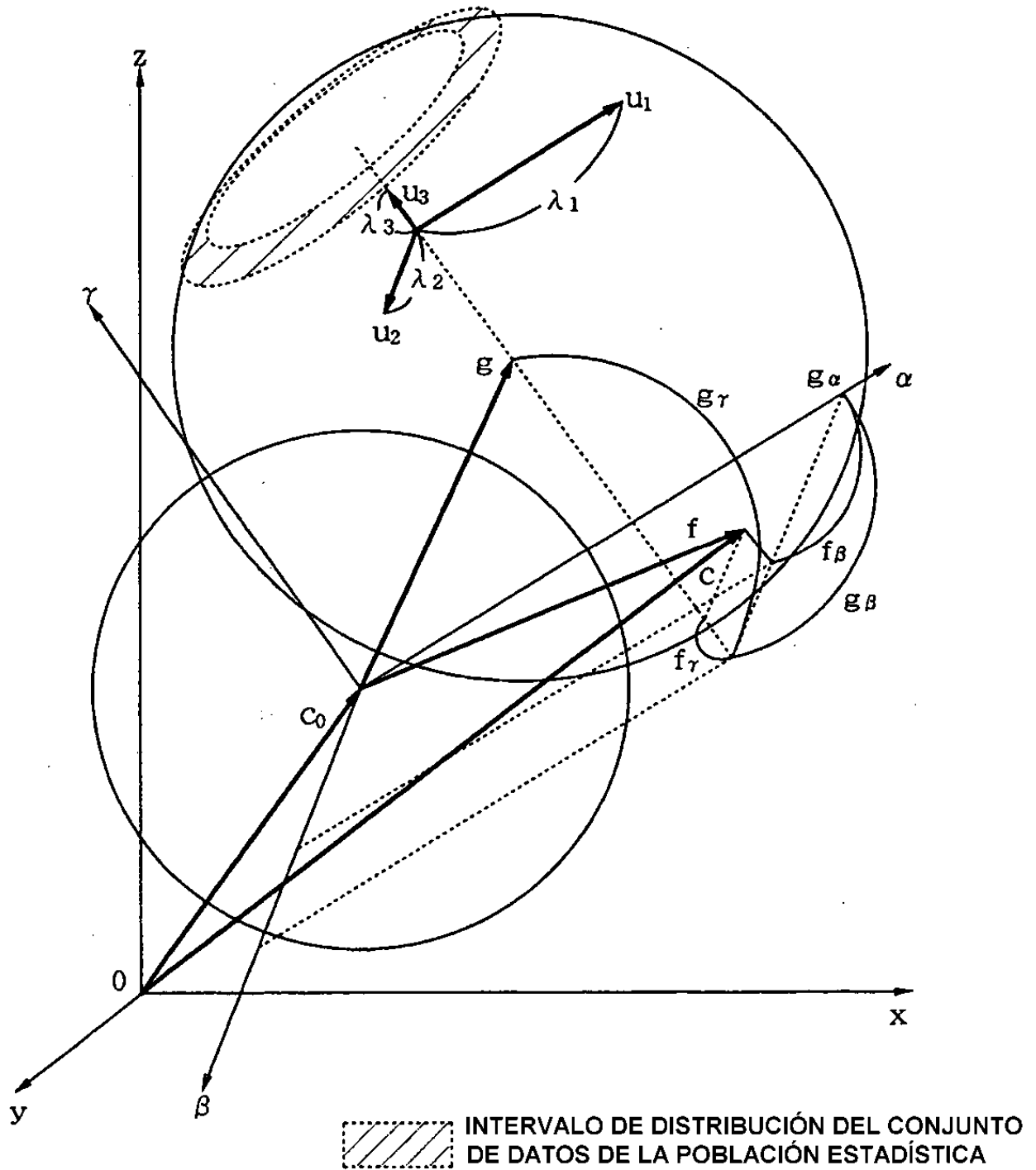


FIG.12

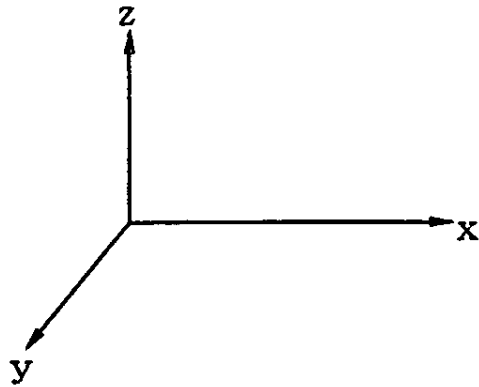
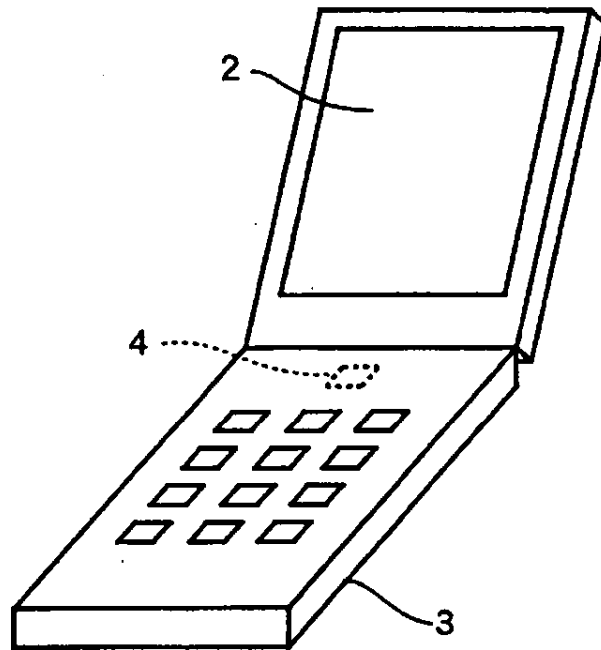


FIG.13

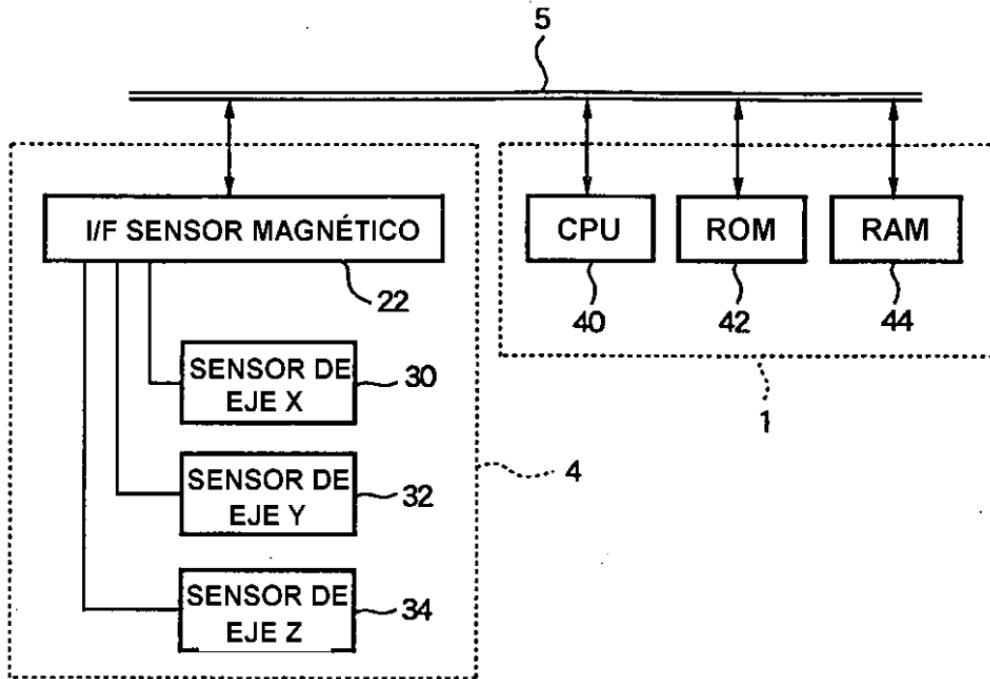


FIG.14

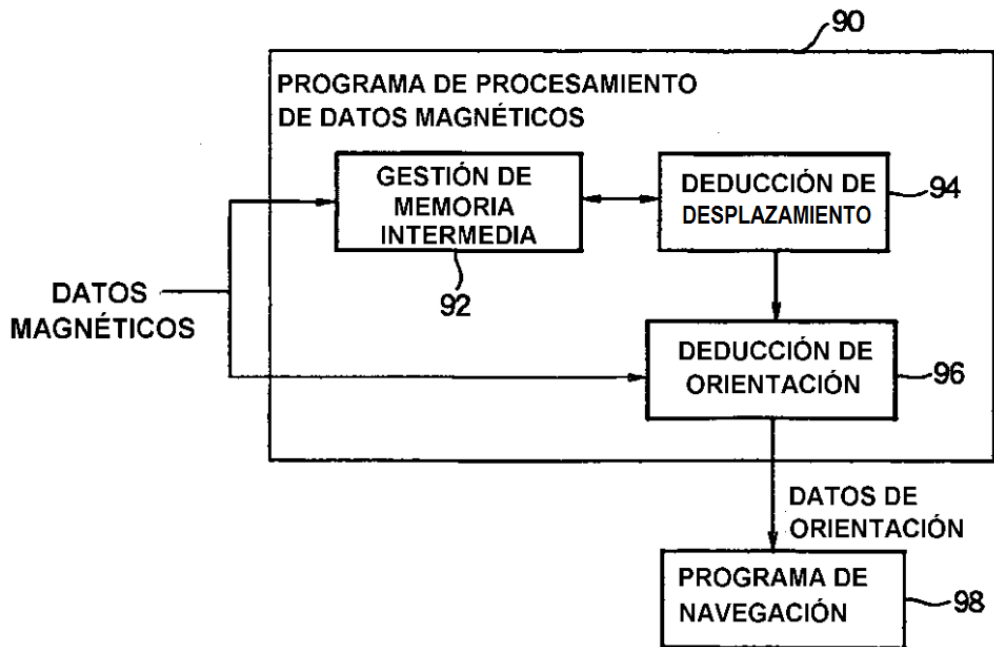


FIG.15

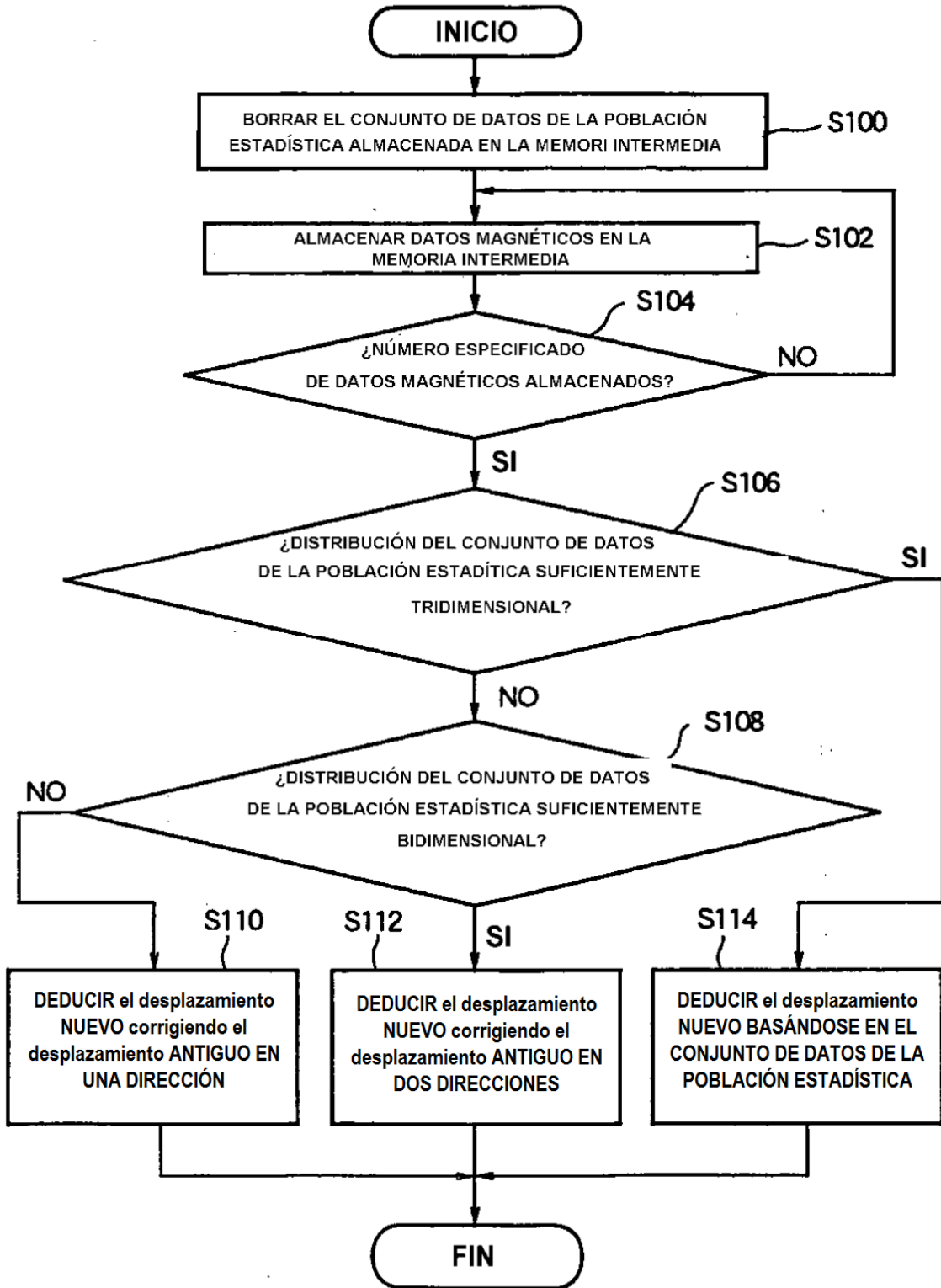


FIG.16

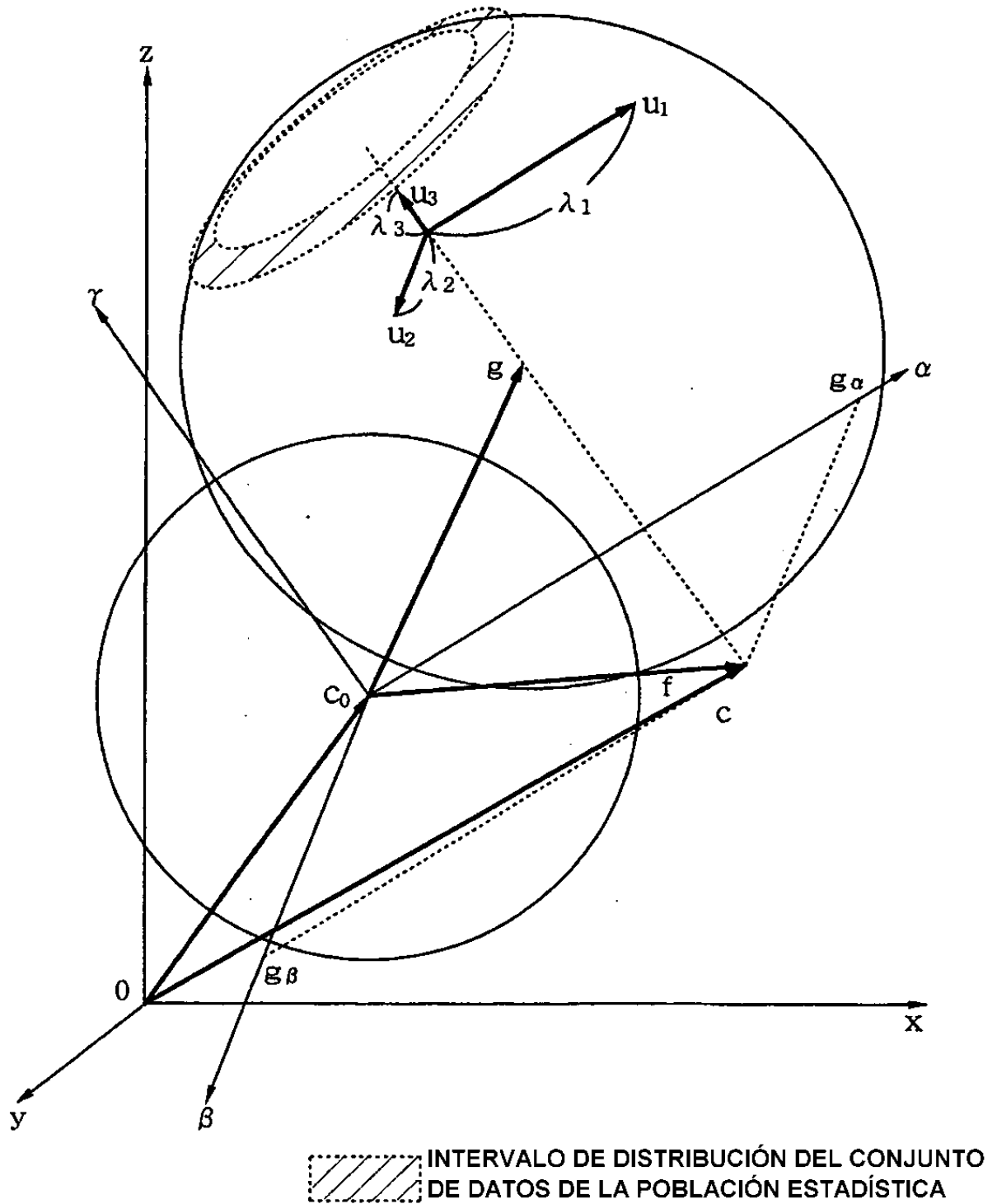


FIG.17

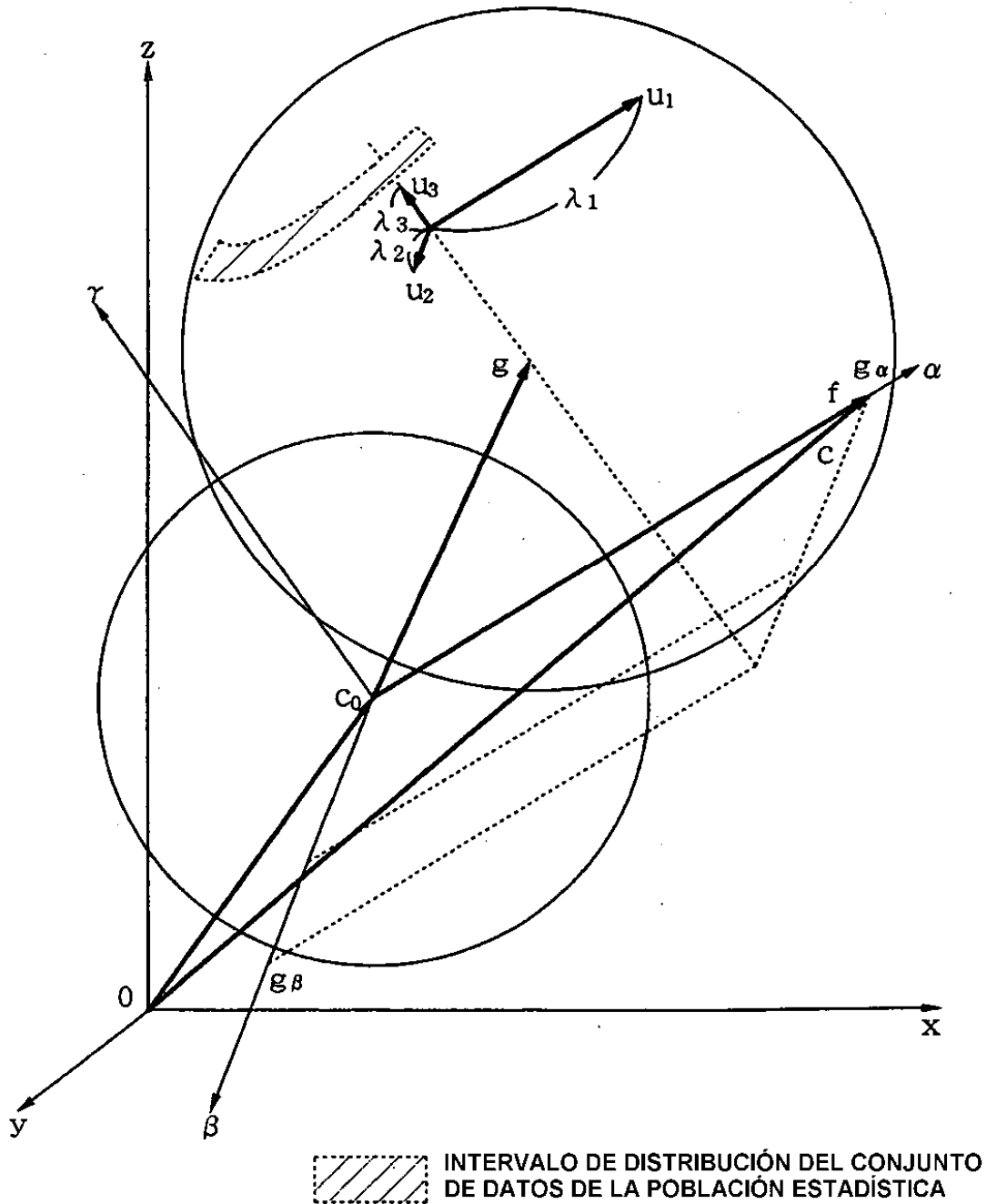


FIG.18

