



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 265 396**

51 Int. Cl.:

A61B 5/06 (2006.01)

G01B 7/004 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **01306239 .3**

86 Fecha de presentación : **19.07.2001**

87 Número de publicación de la solicitud: **1174082**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **23.01.2002**

54 Título: **Sistema de calibración para campos magnéticos.**

30 Prioridad: **20.07.2000 US 620316**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.02.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.02.2007

73 Titular/es: **Biosense Webster, Inc.**
3333 Diamond Canyon Road
Diamond Bar, California 91765, US

72 Inventor/es: **Govari, Assaf**

74 Agente: **Carpintero López, Francisco**

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

Sistema de calibración para campos magnéticos.

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a sistemas de seguimiento de objetos, y específicamente a sistemas médicos electromagnéticos sin contacto y procedimientos para seguir la posición y orientación de un objeto. La presente invención está particularmente dirigida a un nuevo sistema de calibración y procedimientos para los sistemas de seguimiento médico con base electromagnética que pueden justificar los efectos de la interferencia de los objetos metálicos inmóviles.

Antecedentes de la invención

Los procedimientos sin contacto para determinar la posición de un objeto basados en generar un campo magnético y medir su fuerza en el objeto son bien conocidos en la técnica. Por ejemplo, la patente de EE.UU. 5.391.199 y la publicación de solicitud de patente PCT WO 96/05768 describen tales sistemas para determinar las coordenadas de una sonda médica o catéter dentro del cuerpo. Estos sistemas normalmente incluyen una o más bobinas en el interior de la sonda, generalmente en posición adyacente al extremo distal de la misma, conectado por cables a un circuito de procesamiento de señal acoplado al extremo proximal de la sonda.

La patente de EE.UU. 4.710.708 describe un sistema de determinación de localización usando un solenoide de eje único con un núcleo ferromagnético como bobina emisora. Existe una pluralidad de bobinas magnéticas receptoras. La posición del solenoide se determina suponiendo que radia como un dipolo.

La publicación de solicitud de patente PCT WO 94/04938 describe un sistema de localización de posición usando una única bobina sensora y una matriz de tres, tres bobinas emisoras. Las bobinas emisoras están enrolladas en formas no ferromagnéticas. La posición de la bobina sensora se determina sobre la base de la aproximación dipolar a los campos magnéticos de las bobinas donde se utiliza primero una estimación de la orientación de la bobina sensora con el fin de determinar la posición de la bobina sensora en ese orden. Además, las bobinas emisoras de cada matriz se energizan secuencialmente usando un enfoque multiplexación de tiempo. Es interesante el hecho de que, aunque esta referencia describe la multiplexación en frecuencia se puede usar con el fin de incrementar de forma significativa la velocidad de funcionamiento del sistema de posición, claramente indica que existen desventajas derivadas de este tipo de enfoque debido a su complejidad. También es importante observar que aunque esta referencia enseña un sistema de seguimiento de posición y orientación de un solo eje, no aborda ningún procedimiento específico para calibrar el sistema.

En consecuencia, hasta la fecha no existe ningún sistema conocido que proporcione un sistema con sensor electromagnético de posición de un solo eje y procedimiento que sea capaz de dirigirse de forma simultánea a través de multiplexación en frecuencia utilizando una nueva técnica de solución exacta y un nuevo procedimiento de calibración.

Resumen de la invención

De acuerdo con la presente invención se proporciona un sistema de calibración que comprende:

una pluralidad de emisores de campo, donde cada emisor de campo posee una pluralidad de elementos emisores, y cada elemento emisor genera un campo magnético distinto uno de otro a través de la energización simultánea de dichos elementos emisores;

un procesador de señal conectado de forma operativa a dichos emisores de campo;

un sensor de posiciones de prueba que posee tres bobinas sensoras; y

un dispositivo de posicionamiento;

donde dicho sensor de posiciones de prueba está conectado de forma operativa a dicho procesador de señal y a dicho dispositivo de posicionamiento;

donde dicho dispositivo de posicionamiento está conectado de forma operativa a dicho procesador de señal;

donde dicho procesador de señal está preprogramado con una pluralidad de sensores de posiciones de prueba en un sistema de coordenadas y define un volumen de mapeo alineado sustancialmente con un volumen de operación producido por los emisores cuando se energizan;

donde dicho procesador de señal está adaptado para guiar dicho sensor de posiciones de prueba hacia cada una de dichas posiciones de prueba por medio de dicho dispositivo de posicionamiento; y

donde dicho procesador de señal está adaptado para recibir una señal sensora de dicho sensor, indicativa del campo magnético sentido en dicho sensor, donde dicha señal sensora define un campo magnético medido en dicho sensor; dicho procesador de señal también está adaptado para correlacionar un valor de campo magnético teórico conocido para cada posición de prueba con el campo medido real, y almacenar los resultados correlacionados para la corrección de los campos magnéticos teóricos.

Preferentemente, el dispositivo de posicionamiento comprende un brazo robótico. Más preferentemente, las bobinas sensoras son mutuamente ortogonales.

De acuerdo con la invención, además se proporciona un procedimiento de calibración para usar con un sistema capaz de generar un campo magnético para seguir una posición de un dispositivo de acuerdo con los sistemas indicados anteriormente, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

proporcionar una pluralidad de generadores de campo, cada uno de ellos con una pluralidad de elementos emisores, cada elemento emisor adaptado para generar un campo magnético distintos entre sí a través de energización simultánea de dichos elementos emisores;

proporcionar un procesador de señal conectado de forma operativa a dichos emisores de campo;

proporcionar un sensor de posiciones de prueba que posee tres bobinas sensoras mutuamente ortogonales; y

proporcionar un dispositivo de posicionamiento, en el que dicho sensor de posiciones de prueba está conectado de forma operativa a dicho procesador de señal y a dicho dispositivo de posicionamiento y dicho dispositivo de posicionamiento está conectado de forma operativa a dicho procesador de señal;

preprogramar dicho procesador de señal con una pluralidad de posiciones de prueba en un sistema de coordenadas que define un volumen de mapeo alineado sustancialmente con un volumen de operación producido por los emisores cuando se energizan;

llevar el sensor de posiciones de prueba a una posición de prueba especificada;

tomar una medida del campo magnético del componente Z usando la bobina Z del sensor de posiciones de prueba;

Desplazar el dispositivo de posicionamiento de forma que la bobina Y del sensor de posiciones de prueba está en el punto previamente ocupado por la bobina Z;

tomar una medida del campo magnético del componente Y usando la bobina Y del sensor de posiciones de prueba;

Desplazar el dispositivo de posicionamiento de forma que la bobina X del sensor de posiciones de prueba está en el punto previamente ocupado por la bobina Z durante la primera medición y por la bobina Y durante la segunda medición;

tomar una medida del campo magnético del componente X usando la bobina X del sensor de posiciones de prueba;

correlacionar los valores del campo magnético teórico conocidos con los campos medidos reales;

y

guardar los resultados de la correlación para corregir los campos magnéticos teóricos.

Preferentemente, el procedimiento además comprende las etapas de mover el sensor de posiciones de prueba a una siguiente posición de prueba predeterminada; y

repetir las etapas de tomar medidas y desplazar el dispositivo de posicionamiento.

La presente invención también incluye un procedimiento de calibración nuevo para usar con un sistema capaz de generar un campo magnético para seguir una posición de un dispositivo de acuerdo con los sistemas indicados anteriormente, donde el procedimiento es responsable de los efectos de objetos metálicos fijos que se localizan dentro del volumen de mapeo cuando el sistema médico de posición y orientación está en uso. El procedimiento de calibración nuevo se usa para cualquier sistema médico capaz de generar un campo magnético para seguir una posición de un dispositivo médico. El procedimiento comprende las etapas de:

(a) definir un volumen de mapeo dentro del campo magnético generado;

(b) colocar un objeto metálico dentro del volumen de mapeo;

(c) alinear un sensor en un primer punto dentro del volumen de mapeo y medir el campo magnético en el primer punto con el sensor para establecer una primera posición en la coordenada (X_i, Y_i, Z_i) ;

ES 2 265 396 T3

- (d) desplazar el sensor a un punto siguiente ($X_i + dx$, $Y_i + dy$, $Z_i + dz$) a lo largo de un eje de coordenadas mediante un componente de distancia añadido (dx , dy , dz) y medir el campo magnético en el siguiente punto para establecer una siguiente posición en las coordenadas;
- (e) interpolar el campo magnético en un punto intermedio entre la primera posición y la siguiente posición en las coordenadas para establecer una posición en las coordenadas intermedia interpolada;
- (f) determinar la diferencia de posición entre la posición en las coordenadas intermedia interpolada y una posición en las coordenadas intermedia real;
- (g) comparar la diferencia de posición con un límite de error;
- (h) establecer (X_i , Y_i , Z_i) del siguiente punto como ($X_i = X_i + dx$, $Y_i = Y_i + dy$, $Z_i = Z_i + dz$) si la diferencia de posición está dentro del límite de error y repetir las etapas (d)-(g) a lo largo de otro eje de coordenadas; y
- (i) establecer el componente de distancia añadido (dx , dy , dz) disminuyendo el valor del componente de distancia añadido si la diferencia de posición no está dentro del límite de error y repetir las etapas (d)-(g) a lo largo del mismo eje de coordenadas.

El procedimiento también incluye completar el procedimiento de calibración para todo el volumen de mapeo de acuerdo con las etapas esbozadas anteriormente. Aunque el límite de error puede ser cualquier intervalo de error razonable, es preferible que el límite de error sea ≤ 1 mm para efectos con mayor exactitud. Además, el sensor se desplaza una distancia variable de aproximadamente 2 cm a aproximadamente 3 cm. Además, en relación al desplazamiento del sensor, la distancia desplazada debería permanecer constante para eliminar la variabilidad en la calibración. Asimismo, la etapa (i) se consigue disminuyendo el valor del componente de distancia añadida a través de la división por un factor de dos ($X_i + dx/2$, $Y_i + dy/2$, $Z_i + dz/2$).

Una segunda forma de realización del procedimiento de calibración para usar con un sistema capaz de generar un campo magnético para seguir una posición de un dispositivo de acuerdo con los sistemas indicados anteriormente, donde el procedimiento que es responsable de objetos metálicos estáticos comprende las etapas de:

- (a) definir un volumen de mapeo dentro del campo magnético generado;
- (b) colocar un objeto metálico dentro del volumen de mapeo;
- (c) alinear un sensor en un primer punto dentro del volumen de mapeo y medir el campo magnético en el primer punto con el sensor para establecer una primera posición en la coordenada (X_i , Y_i , Z_i);
- (d) extrapolar el campo magnético de un punto siguiente ($X_i + dx$, $Y_i + dy$, $Z_i + dz$) a lo largo de un eje de coordenadas mediante un componente de distancia añadida (dx , dy , dz);
- (e) calcular la posición de las coordenadas en el siguiente punto extrapolado sobre la case del campo magnético extrapolado para establecer una posición en las coordenadas extrapolada;
- (f) determinar la diferencia de posición entre la posición en las coordenadas extrapolada y la posición en las coordenadas real del siguiente punto;
- (g) comparar la diferencia de posición con un límite de error;
- (h) establecer el componente de distancia añadida (dx , dy , dz) de acuerdo con una distancia predeterminada so la diferencia de posición está dentro del límite de error, alinear el sensor a un punto nuevo dentro del volumen de mapeo a lo largo de otro eje de coordenadas y medir el campo magnético en el nuevo punto con el sensor para establecer una nueva posición de coordenadas y repetir las etapas (d)-(g) a lo largo de otro eje de coordenadas; y
- (i) establecer el componente de distancia añadida (dx , dy , dz) disminuyendo el valor del componente de distancia añadida si la diferencia de posición no está dentro del límite de error y establecer un punto intermedio mediante la repetición de las etapas (d)-(g) a lo largo del mismo eje de coordenadas.

La distancia predeterminada puede permanecer constante y, preferentemente, es de aproximadamente 3 cm. Sin embargo, la distancia predeterminada o distancia desplazada también puede ser variada por el usuario. Además, el componente de distancia añadida puede disminuir por un factor de dos de forma que el punto o posición intermedio se define como ($X_i + dx/2$, $Y_i + dy/2$, $Z_i + dz/2$).

Para cualquier forma de realización de la calibración responsable de los efectos de los objetos metálicos fijos, el sensor se desplaza de acuerdo con los vértices de un cubo y todo el volumen de mapeo comprende una pluralidad de cubos. Cada cubo se define mediante medidas derivadas de al menos cuatro vértices diferentes. En general, el

ES 2 265 396 T3

procedimiento de calibración se alcanza para un volumen de mapeo de aproximadamente 20 cm x 20 cm x 20 cm (20 cm)³. Para una exactitud controlada en la calibración, el sensor lo mueve el brazo de un robot.

Estos y otros objetos, características y ventajas de la presente invención se harán evidentes con más facilidad a partir de la detallada descripción que se expone a continuación, tomada junto con las figuras adjuntas.

Breve descripción de las figuras

- La fig. 1 es una vista en perspectiva de una forma de realización de un sistema sensor de posición.
- La fig. 2 es una ilustración esquemática de los componentes sensores de la posición de la Fig. 1;
- La fig. 3 es un diagrama de flujo esquemático que muestra un procedimiento descrito usado para encontrar las coordenadas de posición y orientación de acuerdo con una forma de realización preferida.
- Las fig. 4A-4F son ilustraciones gráficas del procedimiento de la Fig. 3.
- La fig. 5 es una ilustración esquemática de un sistema de calibración de acuerdo con la presente invención;
- La fig. 6 es un diagrama de flujo esquemático que muestra un procedimiento del sistema de calibración de la Fig. 5.
- La fig. 7 es una ilustración esquemática de una forma de realización alternativa para una disposición de emisores, con bobinas emisoras que no están colocadas pero que se encuentran mutuamente ortogonales entre sí;
- La fig. 8 es una ilustración esquemática de otra forma de realización alternativa para una disposición de emisores, con bobinas emisoras que no están colocadas y no se encuentran mutuamente ortogonales entre sí;
- La fig. 9 es una ilustración esquemática de otra forma de realización alternativa para una disposición de emisores, con bobinas emisoras que están colocadas pero que no se encuentran mutuamente ortogonales entre sí;
- La fig. 10 es un diagrama de flujo esquemático que muestra otro procedimiento descrito usado para encontrar las coordenadas de posición y orientación con las disposiciones de emisores de las Figs. 7-9 de acuerdo con otra forma de realización preferida;
- La fig. 11 es una ilustración esquemática de un cubo de calibración usado en un procedimiento de calibración nuevo para el sistema de calibración de la Fig. 5;
- La fig. 12 es un diagrama de flujo esquemático que ilustra una forma de realización de un procedimiento de calibración nuevo para representar los efectos de los objetos metálicos no móviles que usan el sistema de calibración de la Fig. 5; y
- La fig. 13 es un diagrama de flujo esquemático que ilustra una segunda forma de realización de un procedimiento de calibración nuevo para representar los efectos de los objetos metálicos no móviles que usan el sistema de calibración de la Fig. 5.

Descripción de las formas de realización preferidas

En la presente memoria descriptiva se describe un sistema de seguimiento médico y procedimiento para determinar la posición y orientación de un objeto, tal como una sonda o un catéter, usando un sensor de posición de un solo eje y un procedimiento de determinación de la posición y la orientación. El sistema también se usa con un sistema de calibración nuevo y procedimiento, que comprende la presente invención.

Una forma de realización de un sistema de posición y orientación descrito 20 se muestra en la Fig. 1. El sistema 20 comprende una consola 21, que permite al usuario observar y regular las funciones de un dispositivo médico periférico, tal como una sonda o catéter 22. El catéter 22 está conectado a la consola 21 en un procesador de señal 25 (ordenador) por el cable 28. El catéter 22 posee un único sensor de posición 26 fijado cerca del extremo distal del catéter 22 a lo largo del eje longitudinal del catéter 22 en el que el sensor de posición 26 está conectado de forma operativa al procesador de señal 25 a través del cable 28. La consola 21 preferentemente incluye que el procesador de señal (ordenador) 25 contiene circuitos de procesamiento de señal que normalmente están contenidos dentro del ordenador 25. Una pantalla 27 y un teclado 29 están conectados de forma operativa al procesador de señal 25, en el que el teclado 29 está conectado a través del cable 29a. La pantalla 27 permite que se muestre en tiempo real la posición y orientación del catéter 22 en el sensor de posición 26. La pantalla 27 es particularmente útil para mostrar las imágenes de posición y orientación, e información sobre el sensor de posición 26 junto con una imagen o modelo de anatomía concreta tal como un órgano. Un uso particular del sistema 20 es realizar un mapa del corazón, creando de este modo un mapa anatómico en 3D del corazón. El sensor de posición 26 se usa junto con un sensor fisiológico, tal como un electrodo para mapeo de una condición fisiológica, ej. LAT.

El procesador de señal 25 normalmente recibe, amplifica, filtra y digitaliza señales procedentes del catéter 22, incluidas las señales generadas por el sensor de posición 26, donde el procesador de señal 25 recibe y usa estas señales digitalizadas para computar la posición y orientación del catéter 22 en el sensor de posición 26.

El sistema 20 puede también incluir un dispositivo de referencia 30, que también usa un sensor de posición (no mostrado), para establecer un marco de referencia para el sistema 20. El dispositivo de referencia 30 es un parche externo extraíble adherible a la superficie exterior de un paciente y está conectado de forma operativa al procesador de señal 25 a través del cable 31. Es importante destacar que el dispositivo de referencia puede consistir en otras formas alternativas, tal como un segundo catéter o sonda con el sensor de posición para la colocación interna en un paciente.

A continuación se hace referencia a la Fig. 2, que ilustra de forma esquemática los componentes del sistema sensor de posición 20 responsable de determinar la posición y orientación del catéter 22 en el sensor de posición 26. Como se muestra, el sensor de posición 26 está en forma de una bobina o un cilindro hueco. Sin embargo, otras formas para el sensor de posición 26, tal como en forma de barril, forma de elipse (para incluir formas asimétricas), etc. también se contemplan en la presente memoria descriptiva. También se contempla que la bobina sensora 26 puede incluir opcionalmente un concentrador de flujo como núcleo. Además, el sensor 26 puede estar en otras formas en vez de una bobina, por ejemplo un sensor magnetoresistivo (MR) o un sensor de efecto de transmisión o paso de flujo.

Como se ha ilustrado y mencionado anteriormente, el sensor de posición 26 se encuentra en forma de una bobina sensora y está colocado cerca del extremo distal del catéter 22 de forma que la bobina sensora 26 se encuentra, preferentemente, coaxial o a lo largo del eje longitudinal del catéter 22. Como se define en la presente memoria descriptiva, el sensor de posición 26 puede denominarse opcionalmente al sensor de posición, sensor de localización, sensor de posición y orientación, bobina sensora, bobina sensor o terminología similar. Preferentemente, el catéter 22 posee un lumen 24 que extiende la longitud del catéter 22. Preferentemente, la bobina sensora 26 posee un núcleo hueco y está colocada dentro del catéter 22 de forma que el eje de la bobina sensora 26 yace dentro del lumen 24 y a lo largo o paralela al eje del catéter 22. Esta construcción proporciona acceso desde el extremo proximal del catéter 22 hasta su extremo distal a través del núcleo hueco de la bobina sensora 26, permitiendo el uso del catéter 22 como dispositivo de liberación para la liberación de cualquier tipo de terapéutica a través de la bobina sensora 26. La bobina sensora 26 y el lumen 24 permiten el uso del catéter 22 como dispositivo de liberación para la liberación de cualquier tipo de agente o modalidad terapéutico o diagnóstico o dispositivo implantable. Por ejemplo, terapéuticas, tales como agentes farmacéuticos o biológicos, factores, proteínas y células; polímeros de reparación tisular o de tratamiento tales como colas y adhesivos; modalidades de energía tales como guías de onda ópticas para emisión de energía láser, guías de onda ultrasónica para la emisión de ultrasonidos terapéuticos, antenas de microondas y conductores de radiofrecuencia (RF) son sólo algunos de los ejemplos de terapéuticas contempladas para su liberación a través del catéter 22 debido a su disposición única de la bobina sensora 26 y el lumen 24. Asimismo, ejemplos de diagnósticos adecuados para su liberación a través del catéter 22 incluyen, entre otros: medios de contraste, colorantes, fluidos o sustancias de marcaje. Además, dispositivos implantables tales como electrónicos en miniatura, sensores implantables incluidos chips de diagnóstico biológico, dispositivos marcapasos, prótesis, etc. También son adecuados con esta disposición.

El sistema 20 además comprende elementos o bobinas emisores 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48 (también conocidos como bobinas generadoras). En una forma de realización, las bobinas se enrollan en conjuntos de tres bobinas ortogonales y concéntricas que forman emisores 56, 58 y 60, respectivamente. Preferentemente, las bobinas 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48, cada una se enrolla alrededor de un miembro soporte tal como un carrete. En esta primera forma de realización, cada emisor 56, 58 y 60 tiene tres bobinas que están co-localizadas. De acuerdo con esto, las bobinas de cada emisor se encuentran concéntricas entre sí y mutuamente ortogonales entre sí. La disposición concéntrica se consigue teniendo cada bobina de cada emisor particular formada de modo que las bobinas son su respectivo miembro soporte cada uno con un diámetro diferente. Por ejemplo, a modo de ejemplo en relación al emisor 56, la bobina 36 se acomoda y recibe las bobinas 32 y 34, y la bobina 34 acomoda y recibe la bobina 32. Por tanto, la bobina 36 (con su miembro soporte) posee un diámetro que es mayor al diámetro de la bobina 34 (con su miembro soporte) donde el diámetro de la bobina 34 es superior al diámetro de la bobina 32 (con su miembro soporte). Asimismo, este tipo de disposición concéntrica se aplica a todos los emisores 56, 58 y 60.

En esta primera forma de realización, los emisores 56, 58 y 60 están montados de forma fija para definir un plano o almohadillo de localización 61. Los emisores 56, 58 y 60 pueden colocarse en cualquier disposición fija deseada tal como una disposición en forma de vértices respectivos de un triángulo sustancialmente equilátero con lados de hasta 1 metro de longitud. Las bobinas emisoras 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48 están conectadas por cables 62 a un excitador de emisores 64.

En general, el excitador de emisores 64 energiza simultáneamente cada bobina emisora 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48 a través de multiplexación en frecuencia. Cada una de estas bobinas genera un campo magnético respectivo (campo cuasi estacionario), que induce un voltaje en la bobina sensora 26 que se usa como una señal sensora. De acuerdo con esto, dado que cada bobina emisora 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48 genera un campo magnético diferente, la señal sensora que se genera en la bobina sensora 26 está compuesta por contribuciones de cada una de las bobinas emisoras 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48. La señal sensora vuelve al procesador 25. A continuación, el procesador 25 calcula las tres posiciones (dirección x, y, z) y dos coordenadas de orientación (cabeceo y oscilación) (cinco grados de libertad o 5 GDL) del la bobina sensora 26 de los nueve valores de señales sensoras. El procedimiento de cálculo se describe con detalle más adelante. Para ejemplos en los que la bobina sensora 26 tiene una forma asimétrica se calculan 6 GDL para incluir la orientación del cilindro.

Además, existen otras formas de realización alternativas de la disposición de los emisores que son particularmente útiles con la presente invención. Como se muestra en la Fig. 7, una segunda disposición de emisores incluye emisores 56a, 58a y 60a que tienen bobinas emisoras 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48 respectivamente (las mismas bobinas que las mencionadas anteriormente). Las bobinas emisoras 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48 son mutuamente ortogonales entre sí dentro de sus respectivos emisores 56a, 58a y 60a. Sin embargo, estas bobinas emisoras no son concéntricas y no están co-localizadas. En su lugar, los emisores 56a, 58a y 60a comprenden un “grupo triplete” espaciado o no co-localizado en el que la distancia entre las bobinas de cada agrupamiento en triplete no co-localizado no es más de tres a cuatro veces el tamaño del diámetro de la bobina emisora.

Una tercera forma de realización de la disposición de emisores se muestra en la Fig. 8. En esta forma de realización, los emisores 56b, 58b y 60b tienen bobinas emisoras 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48 respectivamente que no están co-localizadas, no son concéntricas y no son mutuamente ortogonales. La orientación de cada bobina es arbitraria, siendo la única limitación que una bobina no está paralela a otra bobina del mismo agrupamiento en triplete 56b, 58b y 60b.

La Fig. 9 ilustra una cuarta forma de realización de la disposición de emisores. En esta forma de realización, los emisores 56c, 58c y 60c comprenden una disposición co-localizada de las bobinas emisoras 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48 respectivamente, en la que las bobinas de cada emisor están concéntricas entre sí de modo similar a la forma de realización de los emisores de la Fig. 2. Sin embargo, las bobinas de cada emisor 56c, 58c y 60c no son ortogonales entre sí. De nuevo, la única limitación de las orientaciones de las bobinas es que una bobina no está paralela a otra bobina en una disposición de los emisores 56c, 58c y 60c.

Procedimiento de posición y orientación

La fig. 3 es un diagrama de flujo esquemático que ilustra un procedimiento y los componentes algorítmicos asociados para determinar las coordenadas de las bobinas sensoras 26, de acuerdo con una forma de realización preferida. Las etapas del procedimiento generan se describirán más adelante y las etapas específicas del algoritmo se describirán con detalle en esta descripción. El procesador de señal 25 (Fig. 1 y 2) determina tres posiciones (X, Y y Z) y dos coordenadas de orientación (cabeceo y oscilación) de la bobina sensora 26 mediante el procedimiento que se describe en la presente memoria descriptiva. Antes de comenzar cualquier procedimiento médico, el sistema 20, a través del procesador de señal 25, se ha preprogramado con un grado deseado de exactitud alcanzado con la calibración. Este es un intervalo de exactitud deseado que normalmente es $\leq 0,1$ cm (la exactitud del sistema). Sin embargo, las etapas incrementales o iteraciones del algoritmo se detienen en cuando el cambio desde una etapa previa es menor a 0,001 cm. Esto último es necesario con el fin de conseguir una exactitud de 1 mm. Además, para cada sistema 20 que se fabrica, los generadores 56, 58 y 60 a través de sus bobinas generadoras 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48 respectivamente, se calibran de forma única mediante un nuevo sistema de calibración y procedimiento que comprende la presente invención que se describe con mayor detalle más adelante en la siguiente descripción.

El sistema 20, tal como la forma de realización ilustrada en la Fig.1, se localiza en un contexto clínico, tal como un quirófano, y la almohadilla localizadora 61 se coloca en una localización deseada. Una localización preferida es posicionar la almohadilla de localización 61 cerca del paciente, por ejemplo, debajo de una camilla de operaciones no metálica (no mostrado). El sistema 20 se activa y las bobinas generadoras 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48 de los emisores 56, 58 y 60 se energizan simultáneamente, donde cada bobina radia distintos campos electromagnéticos, cada una con una frecuencia distinta. De acuerdo con esto, se crean nueve campos magnéticos distintos (cuasi-estacionarios). Debido a la disposición pre-fijada de la almohadilla de localización 61, un volumen de campo magnético predecible (volumen de operación) que cubre aproximadamente un volumen $20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ (20 cm)³ (sobre la base de los emisores 56, 58 y 60 configurados en la almohadilla de localización 61 en una disposición triangular con lados $40\text{ cm} \times 40\text{ cm} \times 37\text{ cm}$) se proyecta en el paciente que cubre las áreas deseadas para la inserción y el seguimiento del catéter 22. Es importante destacar que estas dimensiones son solo uno de los ejemplos ilustrados del tamaño que se contemplan. Los volúmenes más pequeños y mayores se contemplan claramente.

El catéter 22 se coloca en el paciente y se lleva al volumen de operación y la bobina sensora 26 produce señales sensoras indicativas de la magnitud en la bobina sensora 26. Estas señales sensoras se proporcionan al procesador 25 a través del cable 28 en el que la magnitud del campo magnético (campo medido) se determina y conserva en el procesador 25.

Como se muestra mejor en la Fig.3, en este punto el procesador de señal 25 usa un punto de partida arbitrario (que refleja la posición y la orientación) y preferentemente usa una aproximación dipolar (etapa opcional) por una iteración con el fin de obtener a partir de este punto arbitrario a una posición de partida para el descenso más agudo. El punto arbitrario es un punto de partida preprogramado en el procesador 25, por ejemplo, normalmente un punto escogido en el centro del volumen de mapeo. A continuación, el programa en el procesador de señal 25 mueve directamente en el cálculo sin aproximaciones. Sin embargo, la convergencia se puede acelerar (acortar el tiempo del cálculo) mediante el uso de la aproximación dipolar como primera etapa, acercando la solución a la posición real. A partir de ello, se usa el campo magnético entero sin aproximaciones. Por tanto, el punto de partida arbitrario se usa para la aproximación dipolar también.

Una vez que se ha hecho una estimación de la posición y orientación inicial con el aproximador dipolar 72, el procesador 25 calcula el campo magnético en la posición y orientación estimados usando un calculador del campo

magnético 74. Tras este cálculo, el descenso más agudo del campo magnético calculado de la posición y orientación del sensor estimadas a al campo magnético medido de la bobina sensora 26 se calcula usando un calculador del descenso más agudo 76 que emplea la técnica jacobiana. Es importante destacar que la jacobiana se calcula para las nueve bobinas emisoras 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48 mediante el calculador del descenso más agudo 76. El estimador del campo magnético 74 y el calculador del descenso más agudo 76 usan expresiones de campo magnético teórico exacto asó como datos de calibración previamente conservados.

Sobre la base de este cálculo, se realiza una computación resultante, que en realidad refleja un cambio (ΔX), que indica el cambio más agudo en valor entre las nuevas posición y orientación estimadas y la posición y orientación previas (la posición y orientación reales no se sabe hasta el fin del cálculo). Este resultado, ΔX , se añade a la estimación previa de la posición y orientación del sensor para llegar a una estimación nueva de la posición y orientación del sensor. Además, también se usa la información de calibración que se ha conservado previamente en el procesador de señal 25 de acuerdo con un nuevo sistema de calibración y procedimiento de la presente invención (mayores detalles se proporcionan más adelante). De acuerdo con esto se usa un factor de calibración previamente determinado para ajustar la jacobiana y los campos.

En este punto, la nueva estimación de la posición y orientación de la bobina sensora 26 se compara con el intervalo de exactitud previamente determinado. Si la nueva estimación de la posición y orientación de la bobina sensora 26 no está dentro de este intervalo, las etapas se repiten comenzando con el cálculo del campo magnético en la nueva posición y orientación estimados.

Además, para las formas de realización alternativas de la disposición de los emisores que se ilustran en las Fig. 7-9, se aplica una técnica convergente global mediante un convergedor global 77 (Fig. 10) con el fin de llegar a una nueva estimación de la posición y orientación que se encuentre dentro del intervalo de exactitud previamente determinado. El algoritmo específico se analiza con detalle más adelante.

Algoritmo de posición y orientación

Con el fin de entender mejor el procedimiento descrito anteriormente se abordará ahora específicamente el algoritmo usado por este procedimiento de acuerdo con cada etapa del procedimiento. Con fines ilustrativos. La localización y orientación de la bobina sensora 26 se describe mejor en relación a las Fig. 4A-4C. Como se muestra en la Fig. 4A, el centro de la bobina sensora 26 se coloca en el punto P. El eje de la bobina sensora 26, que define su orientación, se muestra como la línea discontinua A en la Fig. 4A.

La posición y orientación del sensor x puede definirse del siguiente modo:

$$\bar{x} = \{\bar{l}, \bar{n}\} \quad (1)$$

donde l es igual a las coordenadas x , y y z del vector de posición OP como se muestra en la Fig. 4B. El vector n , una medida de la orientación del sensor, corresponde a las coordenadas x , y y z , n_x , n_y y n_z , respectivamente, de A' (véase la Fig. 4C), un vector de orientación que es una translación paralela al origen del vector A de orientación del eje del sensor.

En la Fig. 4D se representa una figura esquemática parcial del sistema 20 de la invención, en la que Q_1 , Q_2 y Q_3 son los tres emisores 56, 58 y 60 respectivamente. Cada uno de estos emisores 56, 58 y 60 comprende tres bobinas (32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48 respectivamente). Para la facilidad de la ilustración, el emisor Q_1 comprende las bobinas emisoras una, dos y tres (32, 34 y 36); el emisor Q_2 comprende las bobinas cuatro, cinco y seis (38, 40 y 42); y el emisor Q_3 comprende las bobinas siete, ocho y nueve (44, 46 y 48).

Con esta disposición, a través de la bobina sensora 26, las medidas de los campos en la bobina sensora 26 debido a cada bobina emisora 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48 se proporciona al procesador 25 para usar con las etapas que se detallan más adelante.

Etapla (a): Determinar la estimación inicial de la posición y orientación del sensor usando el estimador de la posición y orientación inicial 70.

Para la estimación inicial de la posición y orientación del sensor, los inventores suponen una posición arbitraria de la bobina sensora 26 del siguiente modo:

$$\bar{x}_0 = \{\bar{l}_0, \bar{n}_0\} \quad (2)$$

Por conveniencia, X_0 se puede escoger de forma arbitraria de forma que esté aproximadamente en el centro del volumen de localización del sistema. Por ejemplo, los tres emisores Q_1 , Q_2 y Q_3 se pueden ver como colocados en los vértices de un triángulo (Fig. 4E). Los lados del triángulo pueden estar biseccionados por medianas M_1 , M_2 y M_3 . La

estimación inicial de la posición tridimensional del sensor lo puede escogerse de forma que esté en la intersección de las medianas de los emisores, a una distancia, 20 cm por ejemplo, por encima del plano formado por los emisores. Asimismo, por conveniencia, n_0 puede escogerse de forma que sea un vector de unidad positiva paralelo al eje z.

5 Etapa opcional (b): Perfeccionamiento de la posición y orientación estimadas según la aproximación dipolar usando el aproximador dipolar 72.

La estimación inicial de la posición y orientación del sensor puede perfeccionarse usando el aproximador dipolar 72 basado en la aproximación dipolar, como se describe a continuación.

10 Como se muestra en la Fig. 4D, los inventores pueden definir los vectores, R_1 , R_2 y R_3 , como vectores de posición desde el origen a los centros del emisor para los emisores Q_1 , Q_2 y Q_3 respectivamente. S define la coordenada de la bobina sensora 26. Para cada uno de los emisores, los inventores pueden definir una relación a_j ($j= 1$ a 3) del siguiente modo: $P_i = R_i - X_0$, donde X_0 es una posición inicial:

$$a_1 = \frac{\bar{P}_1 \cdot \bar{R}_1}{|\bar{P}_1| \cdot |\bar{R}_1|} \quad (3)$$

$$a_2 = \frac{\bar{P}_2 \cdot \bar{R}_2}{|\bar{P}_2| \cdot |\bar{R}_2|} \quad (4)$$

$$a_3 = \frac{\bar{P}_3 \cdot \bar{R}_3}{|\bar{P}_3| \cdot |\bar{R}_3|} \quad (5)$$

30 Los inventores pueden definir f_i para $i= 1$ a 9 como los valores de campo medidos en el sensor S de los campos atribuidos a las bobinas números uno (1) a nueve (9). Los valores de campo magnético para cada bobina se miden de acuerdo con las técnicas conocidas como se esbozan en la publicación de la solicitud de patente PCT WO 96/05768.

35 Los inventores también pueden definir m_j para $j= 1$ a 3 como la suma de los cuadrados de los campos medidos en el sensor debido a las bobinas que comprenden cada uno de los emisores. Por tanto, para el sistema que se muestra en la Fig. 2 y la Fig. 4D, los inventores tienen tres ecuaciones en m del siguiente modo:

$$m_1 = f_1^2 + f_2^2 + f_3^2,$$

$$m_2 = f_4^2 + f_5^2 + f_6^2,$$

45 y

$$m_3 = f_7^2 + f_8^2 + f_9^2.$$

50 Un sensor en puntos retirados lejos de las bobinas emisoras (distancia desde el punto al emisor $>$ radio de la bobina emisora) experimentará campos magnéticos de los que se dice que son de naturaleza dipolar (véase por ejemplo J. D. Jackson en Classical Electrodynamics, segunda edición, John Wiley & Sons, Nueva York, 1975, página 178). En estas condiciones, como se muestra en la patente de EE.UU.5.913.820 para el caso de tres emisores Q_1 , Q_2 y Q_3 , cada emisor compuesto por tres bobinas emisoras concéntricas y ortogonales, la distancia desde el sensor a cada uno de los emisores puede aproximarse en términos de los valores calculados y definidos anteriormente de a y m mediante las siguientes ecuaciones:

$$r_1 = \left[\frac{\sqrt{1 + 3a_1^2}}{m_1} \right]^{1/3}$$

$$r_2 = \left[\frac{\sqrt{1 + 3a_2^2}}{m_2} \right]^{1/3}$$

$$r_3 = \left[\frac{\sqrt{1 + 3a_3^2}}{m_3} \right]^{1/3}$$

en la que r_1 , r_2 y r_3 son las distancias desde el sensor al centro de los emisores Q_1 , Q_2 y Q_3 respectivamente. Los inventores podemos usar las tres distancias r_1 , r_2 y r_3 para triangular hasta una localización del sensor aproximada $l(x, y, z)$. Cada una de las tres distancias r_1 , r_2 y r_3 puede pensarse como radios de esperas alrededor de cada uno de los emisores. El procedimiento de triangulación se resuelve para el punto de intersección de estas tres esferas, lo que tiene como resultado una localización del sensor aproximada como queda descrito por $l(x,y,z)$ (véanse las Figs. 4B y 4F).

Conociendo las características de cada una de las bobinas emisoras (número de vueltas, diámetro de la bobina, etc.) y el paso actual a través de estas bobinas, los inventores pueden calcular $H(l)$, una matriz [9,3] que describe el campo teórico en cada una de las direcciones x , y y z atribuidas a cada una de las nueve bobinas emisoras en la localización del sensor aproximada definida por el vector l .

La Fig. 4F muestra una bobina emisora de bucle único centrada en Q y que tiene un vector de orientación unitaria O_i . La bobina está centrada a una distancia R_i del origen del marco tridimensional de referencia. El vector l conecta el origen con el punto M , la localización del sensor aproximada desde la triangulación como se ha analizado anteriormente. El campo teórico en M debido a la bobina emisora i se puede encontrar del siguiente modo:

Se puede definir el vector cor de forma que: $cor = l - R_i$

El vector cor es de una magnitud correspondiente a la distancia entre el centro de la bobina, punto Q , y el punto M .

También se puede definir el vector la cantidad escalar z como el producto puntual de O_i , un vector que describe el eje de la bobina emisora, y el vector cor : $z = O_i \cdot cor$.

La cantidad z , como se muestra en la Fig. 4F, es igual a la proyección de cor sobre O_i .

Se puede definir la cantidad escalar $absr$ como el valor absoluto del vector

$$\overline{cor} : absr = \|\overline{cor}\|.$$

El escalar $absr$ es igual a la distancia entre el centro de la bobina y el punto M .

Se puede encontrar B_r y B_θ , componentes de vectores de la densidad de flujo magnético en el punto M resueltos a lo largo de los ejes paralelo y perpendicular, respectivamente, a la línea que conecta el punto M y la bobina como se esboza en la publicación de la solicitud de patente PCT WO 96/05768.

También se pueden definir las cantidades $xvec$ y $xnor$ del siguiente modo:

$$\overline{xvec} = \overline{cor} - (z \cdot \overline{O_i})$$

$$xnor = \|\overline{xvec}\|.$$

De estas relaciones se deduce, como se ilustra en la Fig. 4F, que

$$\sin \theta = \frac{xnor}{absr}$$

$$\cos \theta = \frac{z}{absr}.$$

Se puede determinar el campo magnético en la localización M en el marco de referencia de la bobina emisora ($xvec$ y O_i) mediante la resolución de la siguiente matriz de rotación:

$$\bar{G} = \begin{pmatrix} \sin \theta & \cos \theta \\ \cos \theta & -\sin \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_r \\ B_\theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{xvec} \\ G_{O_i} \end{pmatrix}.$$

El campo F_0 en M en el marco de referencia del sistema de coordenadas x , y y z de la Fig. 4F debido a una bobina emisora que tiene una única vuelta se proporciona con la siguiente ecuación:

$$\bar{F}_0 = \left(\frac{\overline{xvec}}{xnor} \right) \cdot G_{xvec} + \overline{O_i} \cdot G_{O_i}.$$

ES 2 265 396 T3

El campo magnético calculado F_i en M debido a que la bobina i tiene más de una vuelta viene dado por la siguiente ecuación:

$$F_i = F_0.$$

(número efectivo de vueltas en la bobina).

El número efectivo de vueltas de una bobina puede no ser igual al número real de vueltas debido a la falta de homogeneidad en la bobina a causa de, por ejemplo, vueltas de radios diferentes o de vueltas no paralelas. El número efectivo de vueltas de la bobina puede determinarse mediante calibración de la bobina, por ejemplo, mediante el procedimiento descrito en la publicación de solicitud de patente PCT WO 97/42517.

El cálculo anterior proporciona la magnitud del campo magnético en M debido a la bobina i en cada una de las direcciones x , y y z . Este cálculo se repite para cada una de las bobinas para proporcionar los datos para la matriz $H(l)$ como se ha definido anteriormente.

Ahora, se puede definir una cantidad $h(x)$, el campo calculado de un sensor en M corregido para la orientación del sensor n del siguiente modo:

$$\bar{h}(\bar{x}) \equiv \bar{H}(\bar{l}) \cdot \bar{n}.$$

Al establecer la aproximación de que el sensor está en realidad localizado en el valor de localización dado por el vector l , los inventores pueden sustituir f , el valor medido real de los campos en el sensor para $h(x)$ en la ecuación anterior, dando

$$\bar{f} \approx \bar{H} \cdot \bar{n}.$$

La reorganización de esta ecuación proporciona la siguiente ecuación, que proporciona un primer cálculo aproximado del vector de orientación del sensor n del siguiente modo:

$$\bar{n} = \bar{H}^{-1} \cdot \bar{f}.$$

Etapas (c): Calcular el campo magnético en la posición y orientación del sensor estimados usando calculador de campo magnético 74.

Recordamos que a partir de la ecuación anterior

$$\bar{h}(\bar{x}) \equiv \bar{H}(\bar{l}) \cdot \bar{n}.$$

Habiendo calculado previamente $H(l)$ en una localización aproximada del sensor M indicada por el vector l y habiendo calculado una orientación del sensor aproximada n , los inventores pueden calcular $h(x)$, el campo calculado en la posición y orientación $x=\{l,n\}$ usando la ecuación anterior. El vector $h(x)$ es el campo magnético corregido por orientación debido a cada una de las nueve bobinas emisoras en el sensor a una orientación y posición aproximadas $x=\{l,n\}$ y, para el sistema descrito anteriormente, es de la forma de una matriz [9.1]

Etapas (d): Calcular el descenso más agudo (jacobiana) desde el campo magnético calculado en la posición y orientación del sensor estimadas al campo magnético medido en el sensor usando el calculador del descenso más agudo 76.

Se puede calcular la jacobiana a $x=\{l,n\}$ del siguiente modo:

$$\bar{J}_{ij} = \frac{\partial(H(\bar{l}) \cdot \bar{n})}{\partial \bar{x}_j} = \frac{\partial \bar{h}(\bar{x})_i}{\partial \bar{x}_j}.$$

La jacobiana J_{ij} es el cambio en el campo calculado $h(x)$ en la localización y orientación $x=\{l,n\}$ para cada una de las nueve bobinas emisoras ($i=1$ a 9), con respecto a cada una de las seis variables de posición y orientación ($j=1$ a 6). La jacobiana es una matriz de 9×6 que tiene 9 filas y 6 columnas. Cada elemento de la matriz jacobiana se calcula calculando el campo producido por cada bobina i en la posición x . A continuación, los inventores incrementan cada una de las 6 variables de posición por un Δ y después se recalcula el campo. El cambio en el campo a causa de la bobina i en relación a cada una de las 6 variables de posición representa las seis entradas en la matriz jacobiana para la bobina i . El procedimiento se repite para cada una de las nueve bobinas.

ES 2 265 396 T3

En la práctica, la realización de todos estos cálculos es bastante intensiva. Como alternativa y preferentemente, los valores para cada una de las entradas en la jacobiana pueden calcularse una vez y guardarse en una tabla de registros. Las entradas individuales pueden obtenerse a continuación mediante interpolación entre los valores de la tabla de registros, en la que los incrementos de x están predeterminados en la tabla de registros.

Se puede definir la matriz L , una matriz de 6×9 , del siguiente modo:

$$\bar{L} = [J (J^T \cdot J)^{-1}]^T.$$

La matriz L es una inversión de medias de mínimos cuadrado de la Jacobiana.

Se puede computar b la diferencia entre el campo real en el sensor y el campo calculado en la posición y orientación del sensor calculadas del siguiente modo:

$$\bar{b} = \bar{f} - \bar{h}.$$

Se recuerda la ecuación que:

$$h(\bar{x}) \equiv H(l) \cdot \bar{n}.$$

En la localización real del sensor, el campo medido real sería igual al campo calculado, lo que da lugar a la siguiente ecuación:

$$\bar{h}(\bar{x}) \equiv \bar{f}(\bar{x}).$$

En una localización aproximada del sensor, el campo en la localización aproximada, $H(x)$, se puede relacionar con el campo medido en la localización real del sensor f del siguiente modo:

$$\bar{f} = \bar{h}(\bar{x}_{n-1}) + \frac{\partial H}{\partial x} \cdot \bar{\Delta x} \quad \text{Recall that,}$$

$$\bar{b} = \bar{f} - \bar{h}(\bar{x}_{n-1}).$$

Ya que

$$\bar{L}J = I$$

$$J \equiv \frac{\partial H}{\partial x}, I \equiv \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Por tanto, se desea calcular un cambio (Δx) en la variable de posición y orientación de seis dimensiones x , que causará que el campo medido se aproxime y, en último término, iguale el campo computado en la posición y orientación calculadas del sensor. De los parámetros y ecuaciones definidas anteriormente, el valor de Δx que cambia de forma más aguda el campo calculado en la posición y orientación calculadas en la dirección del campo medido se proporciona del siguiente modo:

$$\bar{\Delta x} = \bar{L} \cdot \bar{b}.$$

El vector Δx representa el valor que se añade a cada una de las seis coordenadas de posición y orientación de la localización y orientación del sensor estimados para llegar a una nueva estimación de la posición y orientación del sensor para los que el campo calculado está más cerca del campo medido.

Etapla (e): Calcular una estimación nueva para la posición y orientación del sensor usando el nuevo estimador de la posición y la orientación 78.

5 Habiendo computado un valor de Δx , los inventores pueden añadir este valor de Δx a la estimación previa de la posición y orientación del sensor para llegar a una nueva estimación de la posición y orientación del sensor del siguiente modo:

$$\bar{x}_n = \bar{x}_{n-1} + \overline{\Delta x}.$$

10

Además, la información sobre la calibración pre-almacenada (un factor de calibración) de acuerdo con una pluralidad de puntos dentro del volumen de operación se introduce en el calculador del campo magnético 74 y el calculado jacobiana/descenso más agudo 76 con el fin de llegar al nuevo valor/estimación de la posición y orientación del sensor en el nuevo calculador de la estimación 78. En consecuencia, los datos de calibración se usan con el procedimiento
15 citado anteriormente ya que están relacionados con el cálculo de los campos magnéticos en la bobina sensora 26 y la jacobiana. Este procedimiento de calibración se describe con mayor detalle más adelante.

20 Etapla (f): Determinar si la nueva estimación de la posición y orientación se encuentra dentro de la exactitud de la medida deseada, p. ej. $\leq 0,1$ cm (la exactitud del sistema). Sin embargo, las etapas incrementales del algoritmo se detienen en cuanto el cambio desde una etapa previa es menor a 0,001 cm. Como se ha descrito antes, que es necesario con el fin de conseguir una exactitud mejor de 1 mm para el sistema.

Se pueden especificar uno o más criterios para establecer la exactitud requerida de los valores de posición y orientación del sensor recién estimados. Un criterio examina el valor absoluto de Δx , la corrección de la posición y la
25 orientación. Si $|\Delta x|$ es inferior a un valor umbral concreto, se puede suponer que la posición y la orientación se han calculado hasta la exactitud deseada. Por ejemplo, se cree que un valor de $|\Delta x| \leq 10^{-4}$ cm, (lo que tiene como resultado una exactitud de más de 1 mm) cumple los criterios de exactitud requeridos para los sensores usados en la mayoría de las solicitudes biomédicas.

30 El procedimiento descrito antes de determinar la posición y orientación del sensor implica el cálculo del campo $h(x)$ en la localización y posición del sensor estimadas $x=\{1,n\}$. Los inventores pueden definir la cantidad Δf del siguiente modo:

$$\Delta f = \frac{|\bar{h} - \tilde{f}|}{|\tilde{f}|}.$$

El valor de Δf es otro criterio que se puede usar para determinar si la posición y orientación del sensor se han encontrado con la exactitud deseada. Por ejemplo, se ha encontrado que un valor de $\Delta f \leq 10^{-4}$ (lo que tiene como resultado una exactitud de más de 1 mm) es lo bastante exacto para la mayoría de las aplicaciones biomédicas.

40 Preferentemente, ambos criterios se usan para determinar que los valores de posición y orientación se han determinado con la exactitud adecuada.

45 Etapla (g): Iterar los cálculos de los campos (etapas (c)-(e) en la posición y orientación del sensor recién estimadas para perfeccionar la estimación de la posición y orientación.

El procedimiento descrito en la presente anteriormente en las etapas (c) a (e) se repite si los valores de posición y orientación estimados no cumplen uno o más de los criterios de exactitud requeridos. Específicamente, los valores de posición y orientación estimados recién estimados de la etapa (e) se usan en la etapa (c) para recalcular un campo magnético en la nueva posición y orientación del sensor estimados. El así calculado valor de campo se usa en la etapa
50 (d) para perfeccionar el cálculo del descenso más agudo. El descenso más agudo perfeccionado se usa para determinar una nueva estimación para la posición y orientación del sensor. Un mecanismo de fallo-seguridad utilizado en la presente invención es limitar el número de iteraciones a un número máximo, por ejemplo, a diez (10) repeticiones, de forma que si el algoritmo no converge por alguna razón, por ejemplo, debido a que la bobina sensora 26 está fuera del intervalo, o existe un problema de hardware, el sistema 20 no entraría en un bucle infinito. El número máximo de iteración o el límite del número de iteración también se conserva en el procesador de señal 25.

Para las disposiciones de emisores alternativas que se ilustran en las Figs. 7-9 se emplea una modificación del algoritmo descrito anteriormente. Este algoritmo modificado se basa en un procedimiento "Convergente Global" como se esboza en las Recetas Numéricas (ISBN 052143108 pág. 383). Mediante el uso de una técnica Convergente Global (como se usa en la fig. 10), se consigue una convergencia más eficaz del punto de partida arbitrario con la posición y orientación del sensor reales. En consecuencia, la técnica descrita proporciona una nueva corrección de la posición actual Δx (como sustitución de la etapa jacobiana realizada mediante el calculador del descenso más agudo 76 de la fig. 3). Este procedimiento de convergencia global comprende las siguientes etapas:

65 Primero, determinar la dirección de Δx mediante la fórmula:

$$\Delta X/|\Delta X|.$$

ES 2 265 396 T3

Segundo, encontrar el valor mínimo del cambio en el ΔF de campo ($\Delta F_{\min}$) a lo largo de esta dirección. Esta posición viene determinada por:

$$\Delta X' = C \cdot \Delta X$$

(donde $0 < C < 1$).

Tercero, actualización de la posición del sensor de acuerdo con:

$$X = X + \Delta X'.$$

Es importante destacar que la corrección ΔX puede no minimizar la función de ΔF si la posición del sensor estimada está demasiado lejos del valor de la posición real. Sin embargo, la dirección de Δx es el foco deseado en esta etapa. Por tanto, $\Delta F_{\min}$ se determina mediante el incremento a lo largo de la dirección de Δx . En consecuencia, este valor se encontrará en cualquier lugar entre 0 y Δx .

Si el algoritmo convergente global no converge (en un número predefinido de iteraciones) a partir de una posición de partida cierta, se puede seleccionar un punto de partida diferente. Por ejemplo, se puede usar un punto adyacente al punto de partida inicial en el anterior algoritmo convergente global hasta que se produce convergencia.

Una técnica útil es dividir el volumen de operación o el espacio de trabajo en subvolúmenes de 5 cm x 5 cm x 5 cm o (5 cm)³ de forma que existe un total de sesenta y cuatro pruebas para asegurar la convergencia en todos los casos. En consecuencia, este procedimiento se puede realizar sólo una vez. Por tanto, después de encontrar el primer punto, el resultado de la técnica convergente se usa como una aproximación del algoritmo.

Para resumir el procedimiento descrito consiste en las siguientes etapas:

Etapla (a): Estimar una posición y orientación inicial del sensor

Etapla (b) opcional: Perfeccionar la estimación de la posición y orientación según una aproximación bipolar;

Etapla (c): Calcular el campo magnético en la posición y orientación del sensor estimadas

Etapla (d): Calcular el descenso más agudo a partir del campo calculado en la posición y orientación del sensor estimadas a al campo magnético en el sensor

Etapla (e): Calcular una nueva estimación de la posición y orientación del sensor, que incluye usar información de calibración almacenada y predeterminada, almacenada en el procesador de señal 25 junto con las etapas (c) y (d);

Etapla (f): Determinar si la posición y orientación recién estimadas se encuentran dentro de la exactitud de la medida deseada; y

Etapla (g): Iterar los cálculos (etapas (c)-(e)) hasta el número de iteración máximo pre-almacenado, es decir el número límite de iteración, en la posición y orientación del sensor recién estimadas para perfeccionar la estimación de la posición y orientación a la exactitud requerida (también predeterminada y almacenada en el procesador de señal 25).

Como alternativa, la etapa (d) anterior se sustituye por la técnica convergente global descrita antes (Fig. 10) (para las disposiciones de emisores que se muestran en las Figs. 7-9).

En la práctica, el procedimiento descrito se aplica al cálculo secuencial de múltiples números de posición y orientaciones de los sensores a una pluralidad de puntos en el espacio. Para el cálculo de puntos sucesivos que están estrechamente espaciados en el tiempo, puede suponerse que el sensor no se ha movido significativamente desde los valores determinados previamente. En consecuencia, un valor bueno para la estimación inicial de la posición y orientación para la n posición y orientación serán los valores determinados en la posición y orientación n-I.

Sistema de calibración

Un sistema de calibración 90 de acuerdo con la presente invención está conectado de forma operativa al sistema sensor de posición y orientación 20 (Figs. 1 y 2). El sistema de calibración 90 está dirigido a proporcionar datos de calibración que se pre-almacenan en el procesador de seña 25 que se usa para realizar una determinación exacta de la posición y orientación de la bobina sensora 26 (Fig. 2) cuando se introduce en el volumen de operación. Como se muestra en la Fig. 5, el sistema de calibración 90 incluye componentes principales del sistema de posición y orientación 20, incluido el procesador de señal 25, el excitador de emisores 64, la almohadilla de localización 61 y las bobinas emisoras o generadoras 32, 34, 36, 28, 49, 42, 44 y 48 enrolladas alrededor de carretes formando emisores o generadores 56, 58 y 60 respectivamente junto con los cables respectivos 62.

El sistema de calibración 90 también incluye un sensor de posiciones de pruebas 100 que tiene tres bobinas sensoras 102, 104 y 106 que están orientadas en los planos de coordenadas X, Y, y Z (ejes de coordenadas) respectivamente como se representa. Las distancias de cabeceo entre las bobinas en el sensor 100 es 1-0,02 cm. El sensor de posiciones de pruebas 100 está conectado de forma operativa al procesador de señal 25 por el cable 28 para procesar las señales sensoras proporcionadas por el sensor de posiciones de pruebas 100. Además, el sensor de posiciones de pruebas 100 está conectado de forma operativa a un dispositivo de posicionamiento tal como un brazo robótico 110 a través del cable 112. El brazo robótico 110 está conectado de forma operativa al procesador de señal 25 por el cable 114. El procesador 25 tiene posiciones de prueba predeterminadas de acuerdo con el sistema de tres coordenadas, p. ej. Los ejes de coordenadas X, Y, Z. Preferentemente, aproximadamente ciento cincuenta (150) posiciones de prueba se predeterminan y almacenan en el procesador 25. Estas posiciones de prueba se alinean estrechamente con el volumen de operación producido por los generadores 56, 58 y 60 cuando se energizan. Dado que el procesador 25 está programado con cada una de estas posiciones de prueba, el brazo robótico 110 se puede guiar con exactitud y posicionar en cada posición de prueba. Este procedimiento estará mucho más claro cuando se describa con más detalle más adelante.

15 *Procedimiento de calibración que incluye el algoritmo*

En general, en el procedimiento de calibración de acuerdo con la presente invención, los campos teóricos de la almohadilla de localización 61 (Fig. 5) están adaptados al campo medido de un sistema específico de posición y orientación 20. En consecuencia, cada sistema 20 está personalizado con sus propios datos de calibración, que se usan durante los cálculos de localización cuando se determina la posición y la orientación de una bobina sensora 26 (Figs. 1 y 2) como se ha mencionado antes y representado en el diagrama de flujo esquemático de la fig. 3. La solicitud de patente de EE.UU. en tramitación n° 09/180.244, titulada Calibración del emisor, en la actualidad publicada como EE.UU. 6.335.617, también aborda técnicas para calibrar bobinas emisoras o generadoras de campo magnético.

La Fig. 6 muestra diagrama de flujo esquemático para el procedimiento de calibración según la presente invención. En consecuencia, con este procedimiento de calibración, las posiciones de prueba predeterminadas para el volumen de operación se almacenan en el procesador 25. Aunque preferentemente se usan ciento cincuenta (150) posiciones de prueba, se puede usar cualquier número de posiciones de prueba dependiendo del tamaño del volumen de operación deseado y del grado de exactitud que se haya determinado necesario. Como se ha mencionado anteriormente, estas posiciones de prueba (X_i , Y_i , Z_i) sustancialmente coinciden con el volumen de operación, por ejemplo, 20 cm x 20 cm x 20 cm (20 cm)³. Como se define en la presente memoria descriptiva, los términos “volumen de mapeo”, “volumen de obtención de muestra” y “área de mapeo” son términos análogos para “volumen de operación” y se usan de forma intercambiable en esta descripción.

Primero, las bobinas emisoras de los emisores o generadores 56, 58 y 60 del sistema de posición 20 se activan a través de energización simultánea usando una técnica de multiplexación en frecuencia con el fin de crear nueve campos magnéticos distintos (cuasi-estacionarios) y establecer el volumen de operación. A continuación, el brazo robótico 110 es guiado y posicionado de forma exacta en cada posición de prueba respectiva (X_i , Y_i , Z_i) y los componentes X, Y y Z del campo magnético se miden en el sensor de posiciones de prueba 100. Tras cada medición, el procesador 25 comprueba la toma de muestras de estas posiciones de prueba con el fin de determinar si se ha conseguido un volumen de muestra requisito. EL volumen de la toma de muestra corresponde al volumen de operación de los emisores de campo 56, 58 y 60. Una vez que el volumen de toma de muestras deseado se ha completado, el procesador 25 se correlaciona con los campos magnéticos teóricos conocidos en cada posición de prueba (X_i , Y_i , Z_i) con el campo magnético medido real en cada posición de prueba (X_i , Y_i , Z_i). Esta correlación es una transformación matemática que mapea los campos magnéticos teóricos en los puntos adquiridos (X_i , Y_i , Z_i) con los campos magnéticos medidos en estos puntos de prueba (X_i , Y_i , Z_i). Por tanto, esta correlación es un cálculo del mapa y los resultados se almacenan en el procesador 25 para cada posición (X_i , Y_i , Z_i) y se recuerdan durante un procedimiento sensor de la posición y la orientación como el que se ha descrito anteriormente, por ejemplo, con el sistema 20 representado en la Fig. 1. Los datos de calibración de estos archivos de calibración almacenados se usan para corregir los campos magnéticos teóricos.

Un ejemplo del procedimiento de calibración que emplea el sistema de calibración 90 (Fig. 5) se resume a continuación. Como se muestra, usando el sistema de calibración 90, se miden los componentes del campo magnético X, Y, Z usando el sensor de posiciones de pruebas de tres ejes 100, que comprende tres bobinas sensoras ortogonales 102, 104 y 106 que proporcionan información de la señal del sensor al procesador 25 sobre el sistema de posición 20. Con el fin de calcular el mapa entre los campos de las almohadillas de localización y los campos teóricos, se necesita saber las coordenadas exacta de la medida en relación a cada una de las bobinas 32, 34, 36, 28, 49, 42, 44 y 48 respectivamente de la almohadilla de localización 61. En este punto, el brazo robótico 110 se alinea con el sistema de coordenadas de la almohadilla de localización, por ejemplo el volumen de toma de muestras, usando las posiciones de prueba predefinidas (X_i , Y_i , Z_i).

Una secuencia aceptable es la siguiente:

- a) Llevar el brazo robótico 110 a una posición de prueba especificada $X_0Y_0Z_0$, que es una posición de prueba para medir en relación con la bobina Z 106 del sensor de posiciones de pruebas 100.
- b) Tomar una medida del campo magnético del componente Z usando la bobina Z 106 del sensor de posiciones de prueba 100.

ES 2 265 396 T3

c) Desplazar el brazo robótico 110 de forma que el sensor de posiciones de prueba se mueve 1 cm hacia adelante (Esto coloca a la bobina Y 104 en el mismo punto anteriormente ocupado por la bobina Z (106)) y medir el campo magnético del componente Y usando una bobina 104 del sensor de posiciones de prueba 100.

d) Desplazar el brazo robótico 110 de forma que el sensor de posiciones de prueba se mueva de nuevo 1 cm hacia adelante (lo que coloca a la bobina X 102 en el punto antes ocupado por la bobina Z par a106 durante la primera medida. Esto coloca a la bobina Y 104 en el mismo punto anteriormente ocupado por la bobina Z (106)) y medir el campo magnético del componente Y usando una bobina 104 del durante la segunda medida y medir el campo magnético del componente X usando una bobina 102 durante el sensor de posiciones de prueba 100.

Como se ha mencionado antes, se realiza un típico procedimiento de calibración en un volumen de toma de muestra de 20 cm x 20 cm x 20 cm alrededor del centro y por encima de la almohadilla de localización 61 que corresponde al volumen de operación cuando el sistema 20 (Figs. 1 y 2) se usa con fines médicos. Además, las etapas entre dos puntos/posiciones sucesivas son 2-3 cm en cada dirección, aunque las etapas no tienen que se constantes a lo largo de todo el volumen de toma de muestra. Normalmente, existen ciento cincuenta (150) puntos de muestra en todo el volumen de toma de muestra. Por tanto, al final del procedimiento de calibración, los inventores tienen:

$$\{\bar{B}_j^i | j = 1...9, i = 1... \approx 150\}$$

Donde el i índice es el número de puntos índice u j es el índice de frecuencia para cada bobina generador en distintas frecuencias. Por tanto, el índice i se refiere a los campos medidos para todas las posiciones de prueba, p. ej. 150.

La transformación matemática se resume a continuación. Los inventores suponen que en cualquier región dada de espacio existe una transformación de rotación entre los campos medidos y los campos teóricos. Por tanto, podemos depender de la ecuación:

$$OB_{Th} = B_M \quad (6)$$

donde O es una matriz de rotación de 3x3 que viene dad por la ecuación:

$$O = B_M B_{th}^{-1} \quad (7)$$

Es importante destacar que tanto Bm como Bth son matrices [3x150] y la transformación matemática Bm y Bth mapea lo más cerca posible en el sentido de las medias de mínimos cuadrados. Asimismo, cabe destacar que en la ecuación (7) los inventores supusieron que la misma transformación se aplica todo el volumen del espacio. De hecho, se puede tener una matriz de rotación distinta a cada subvolumen de nuestro espacio de mapeo. Por ejemplo, se puede dividir el volumen de mapeo en subcubos que tienen un subvolumen de 5 cm x 5 cm x 5 cm, por ejemplo siendo cada subcubo (5 cm)³ y calcular la matriz de rotación que es relevante para cada uno de los subcubos. Esta matriz de rotación se almacena en el procesador de señal 25 con la información de calibración acerca de su posición en el espacio. Este procedimiento se lleva a cabo para cada bobina emisora 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48.

Normalmente, se pueden derivar aproximadamente veinte (20)-treinta (30) matrices 3x3 para cada bobina 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48.

De acuerdo con esto, si se fuera a empezar en un punto de partida x, el campo teórico en el punto B_{th}(x) se puede calcular mediante el algoritmo de la presente invención. Por tanto, el campo teórico “nuevo” viene dado por la expresión:

$$O(x)B(x)$$

Donde O(x) es la transformación relevante en el punto x. Y para que la jacobiana teórica calculada sea J(x), la “nueva” jacobiana calibrada viene dad por la ecuación:

$$O(x)J(x)$$

De acuerdo con esto, la B calibrada (campo magnético) y J (jacobiana) se usan en el algoritmo de la presente invención del mismo modo que se usan las versiones no calibradas. Sin embargo, con la información de calibración añadida (la B calibrada), el sistema 20 posee una mayor exactitud para la posición que es particularmente útil en los procedimientos médicos.

Procedimiento de calibración con compensación metálica estática

La presente invención también incluye un nuevo procedimiento de calibración para los emisores 56, 58 y 60 del sistema de posición y orientación 20 (Fig. 1) capaz de compensar los efectos de las alteraciones producidas por objetos metálicos inmóviles o estáticos colocados dentro del volumen de mapeo o de operación. El procedimiento de calibración se usa junto con el sistema de calibración 90 mostrado en la Fig. 5 que incluye el brazo robótico 110 para garantizar exactitud. Además, este procedimiento de calibración es útil para que varias disposiciones de los emisores 56, 58 y 60 incluyan las formas de realización de las disposiciones de los emisores en las Fig. 5, 7, 8 y 9.

De acuerdo con esto, un objeto metálico (no mostrado), tal como el brazo C de un dispositivo fluoroscópico, se coloca dentro del volumen de mapeo pretendido generado por los emisores 56, 58 y 60. El propósito de esta etapa es establecer datos de calibración para conservación en el procesador de señal 25 que tiene en cuenta los efectos de alteración producidos por el objeto metálico sobre la magnitud y dirección de los campos magnéticos generados por las bobinas emisoras 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 y 48 de los emisores 56, 58 y 60 respectivamente.

Como se ha mencionado anteriormente, un volumen de mapeo preferido es el campo magnético dentro de un área de aproximadamente 20 cm x 20 cm x 20 cm (20 cm)³. El procedimiento de calibración de acuerdo con la presente invención tiene en cuenta el campo magnético producido por cualquier objeto metálico localizado dentro del volumen de mapeo. Una vez que el campo magnético se somete a mapeo de acuerdo con el procedimiento de la presente invención que se describe con mayor detalle más adelante, por ejemplo, usando el algoritmo de sensor de un solo eje asociado con el sistema 20 (Fig. 1), se puede usar el sistema 20, incluso en presencia de uno o más objetos metálicos, como si fuera una situación de campo magnético completamente exenta de alteraciones, es decir una situación sin la presencia de interferencias por un objeto metálico.

Una forma de realización del procedimiento de la presente invención se ilustra mejor en el diagrama de flujo esquemático de la Fig. 12. Primero, se define un volumen de mapeo pretendido y se colocan dentro del volumen de mapeo pretendido uno o más objetos metálicos. De nuevo, estos objetos metálicos serían los objetos localizados en el campo estéril del paciente y dentro del volumen de mapeo. Un ejemplo de un objeto metálico no móvil típico (donde no móvil significa sólo relativo a la almohadilla de localización) es el brazo C de un dispositivo fluoroscópico. De acuerdo con esto, el brazo C se coloca dentro del volumen de mapeo.

Volviendo ahora a las Figs. 5 y 11, el brazo robótico 110 mueve el sensor de posición 100 hasta un punto de partida para comenzar el mapeo y el procedimiento de calibración mediante la creación de un cubo de calibración de mapeo de 200a. Por ejemplo, el punto de partida está en una posición o punto que comienza en el vértice de un cubo que tiene un volumen de 3 (cm)³. Por ejemplo, un primer punto adecuado o posición de partida es el punto 210 del cubo 200a mostrado en la Fig. 11.

El sensor 100 se alinea en el primer punto o posición de coordenadas 210 representado según las coordenadas tridimensionales (X_i , Y_i , Z_i) dentro del cubo de calibración de mapeo 200a (dentro del volumen de mapeo) y el campo magnético de las bobinas emisoras 32, 24, 26, 28, 40, 42, 44, 46 y 48 se lee y se mide en el primer punto para establecer la primera posición en las coordenadas 210 con el sensor 100 a través del procesador de señal 25. A continuación el brazo robótico 110 desplaza o mueve el sensor 100 hacia un siguiente o segundo punto 220 ($X_i + dx$, $Y_i + dy$, $Z_i + dz$) definido por la primera posición y un componente de distancia añadida (dx , dy , dz) por. El campo magnético en el segundo punto 220 se lee y se mide a través del procesador de señal 25 para establecer una segunda o siguiente posición en las coordenadas.

El procesador de señal se preprograma con las posiciones de calibración del cubo de calibración 200a, que son los vértices (210, 220, 230, 240, 150, etc.) de un cubo de volumen (3 cm)³. El brazo robótico 110 desplaza el sensor 100 en distancias incrementales predeterminadas variables entre 2-3 cm (preferentemente la distancia desplazada es de 2 cm). La distancia desplazada exacta se predetermina y permanece constante durante todo este procedimiento de mapeo de calibración, siendo la única excepción cuando existen efectos de alteración metálica en una posición concreta. Esta modificación para desplazar la distancia se aborda específicamente más adelante.

Por ejemplo, para el procedimiento ilustrado de forma esquemática en la Fig. 11, la distancia desplazada es de 3 cm (a lo largo de uno de los ejes de coordenadas X, Y, o Z) para cada punto o posición en los vértices 210, 220, 230, 240 y 250. Además, el brazo robótico 110 desplaza el sensor 100 según la dirección de las flechas a lo largo de los bordes del cubo 200a (a lo largo de cada eje de coordenadas).

Una vez que el campo magnético se ha medido y se ha determinado la posición en el primer punto 210, p. ej., primera posición en las coordenadas (X_i , Y_i , Z_i) y en el siguiente o segundo punto 220, p.ej., siguiente o segunda posición en las coordenadas ($X_i = X_i + dx$, $Y_i = Y_i + dy$, $Z_i = Z_i + dz$), que refleja el componente de distancia añadida dx , dy , dz , donde $dz = 3$ cm (también denominada distancia de desplazamiento o distancia desplazada), el campo magnético en un punto intermedio 220a entre la primera posición 210 y la segunda posición 220 se interpola y la coordenada de la posición del punto intermedio 220a se calcula mediante el procesador de señal 25. Es importante destacar que el punto intermedio 220a yacerá a lo largo del eje de coordenadas de la distancia desplazada, por ejemplo, con una distancia de 3 cm a lo largo del eje de coordenadas X entre los puntos de vértice 210 y 220.

Después de interpolar el campo magnético del punto intermedio 220a y calcular la posición del punto intermedio (posición intermedia calculada usando el algoritmo de posición y orientación), el procesador de señal 25 toma la diferencia entre la posición intermedia calculada y la posición intermedia real. La diferencia en la posición intermedia (ε) se compara con un límite de error también previamente almacenado en el procesador de señal 25. Aunque un límite de error puede tener cualquier valor, se ha encontrado que un límite de error ≤ 1 mm es un límite de error razonable y aceptable.

El siguiente o segundo punto (X_i, Y_i, Z_i) se establece como ($X_i = X_i + dx, Y_i = Y_i + dy, Z_i = Z_i + dz$) mediante el procesador de señal 25 si la diferencia de posición (ε) se encuentra dentro del error límite (≤ 1 mm) y el brazo robótico 110 desplaza el sensor 100 hacia otro punto 230, p. ej., un tercero u otro punto (tercera posición en las coordenadas a lo largo de otro eje de coordenadas, p. ej., eje Y (tercer vértice del cubo 200a a lo largo de la distancia desplazada = 3 cm).

Si la diferencia en la posición intermedia (ε) no se encuentra dentro del error límite, p. ej., ε no es ≤ 1 mm, el procesador de señal 25 disminuye el valor del componente de distancia añadida, p. ej., establece dx, dy, dz como $dx = dx/2, dy = dy/2, dz = dz/2$). Por ejemplo, el componente de distancia añadida dx disminuye a 1,5 cm (3 cm : 2 cm y donde $dy=dz=0$) y el brazo robótico 110 repite el desplazamiento hacia un segundo punto nuevo 220b a lo largo del mismo eje de coordenadas, p. ej. Eje X. De acuerdo con esto, el sensor 100 se desplaza un componente de distancia añadida de $dx = 1,5$ hacia en nuevo segundo punto/vértice 220 b, donde el campo magnético selle en el punto 220n y se determina su posición (nueva segunda posición en la coordenada). A continuación, el campo magnético se interpola para un nuevo punto intermedio 220c, p. ej. una posición/punto entre la nueva posición segunda 220b y la primera posición 210 y la posición del punto intermedio 220c se calcula (nueva posición intermedia) usando el algoritmo de posición y orientación. Y, justo como antes, la nueva posición intermedia calculada se compara con la posición real del punto intermedio 220c para determinar si esta diferencia (ε) se encuentra dentro del límite de error (≤ 1 mm). Si la diferencia de posición (ε) se encuentra dentro del límite de error, el brazo robótico 110 desplaza el sensor 100 hacia otro punto más de un vértice 230a (posición vértice) del cubo 200a a lo largo de otro eje de coordenadas, p. ej., el eje Y, mediante el componente de distancia añadida $dy = 3$ cm y repite las etapas resumidas anteriormente para cada vértice del cubo 200a.

Como se ha mencionado anteriormente, el componente de distancia añadida del punto intermedio se establece disminuyendo el valor del componente de distancia añadida si la posición no se encuentra dentro del límite de error. Las etapas se repiten después de realizar el ajuste de descenso al componente de distancia añadida.

Este procedimiento de mapeo de calibración para compensación de metales estáticos continuó según una serie o pluralidad de cubos de calibración de mapeo creados, comenzando con el mapeo de un segundo cubo adyacente 200b hasta que el volumen de mapeo completo de 20 cm x 20 cm x 20 cm (20 cm)³ está completamente mapeado y calibrado justificando objetos metálicos existentes dentro del volumen de mapeo. Es importante destacar que cada uno de los cubos de calibración de mapeo 220a, 200b, etc. Pueden muy bien ser los cubos que tienen lados de longitudes que no son iguales debido a los efectos de un objeto metálico encontrado durante el mapeo de un cubo concreto.

Una segunda forma de realización del procedimiento de calibración según la presente invención utiliza la extrapolación del campo magnético en el siguiente punto. Como se muestra en la Fig. 13, primero, el objeto metálico se coloca dentro del volumen de mapeo pretendido. De nuevo, el brazo robótico 110 coloca el sensor 100 en el primer punto 210 (comenzando en la primera posición X_i, Y_i, Z_i) y el procesador de señal 25 lee y mide el campo magnético en este primer punto para determinar la primera posición en la coordenada. A continuación, el procesador de señal 25 extrapola el campo magnético en el siguiente o segundo punto 220, p. ej. Siguiendo o segunda posición en la coordenada (siguiente vértice del cubo de mapeo 200a que es el punto extrapolado) definido como ($X_i = X_i + dx, Y_i = Y_i + dy, Z_i = Z_i + dz$) que incluye el componente de distancia añadida dx, dy, dz según sea adecuado. En este caso, el componente de distancia añadida (dx) es una distancia de 3 cm a lo largo del eje de coordenadas X.

Una vez que el campo magnético para el segundo punto (el punto siguiente) se ha extrapolado, la localización en la coordenada de este punto 220 (segunda posición calculada) se calcula usando el algoritmo de posición y orientación y se compara con la posición real del segundo punto 220 con el fin de determinar la diferencia de posición (ε). Si la diferencia de posición (ε) está dentro del límite de error predefinido almacenado en el procesador de señal 25, el brazo robótico 110 desplaza el sensor 100 hacia un nuevo punto 230 (siguiente vértice) a lo largo de otro eje de coordenadas, p. ej. el eje Y y las etapas anteriores se continúan a lo largo del eje de coordenadas Y, etc. Si la diferencia de posición (ε) no está dentro del límite de error de 1 mm, el campo magnético se extrapola para un punto intermedio 220b, p. ej. coordenada de posición intermedia ($X_i + dx/2, Y_i + dy/2, Z_i + dz/2$) entre el segundo punto 220, p. ej., segunda posición en la coordenada, y el primer punto 210, p.ej., primera posición en la coordenada (todavía a lo largo del mismo eje de coordenadas). Aunque en este ejemplo el componente de distancia añadida dx está disminuido por un factor de dos (2), bastará con cualquier factor suficiente para disminuir el componente de distancia añadida. A continuación se toma una medida del campo magnético en el punto intermedio 220b con el sensor 100 y el procesador de señal 25 con el fin de determinar la coordenada de la posición intermedia usando el algoritmo de posición y orientación. Para la posición intermedia 220b (que en realidad es un nuevo punto segundo o siguiente), el resto de las etapas se siguen en secuencia, que incluye determinar la diferencia de posición (ε) del punto intermedio 220b (nuevo segundo punto) y determinar si ε es ≤ 1 mm.

ES 2 265 396 T3

El procedimiento de calibración de mapeo se continúa de acuerdo con las etapas del procedimiento que se muestran en la Fig. 13, creando de este modo nuevos cubos de mapeo 220b, etc. Hasta que se completa todo el volumen de mapeo (aproximadamente 20 cm x 20 cm x 20 cm o volumen (20 cm)³).

- 5 En la presente invención está claramente contemplado que las etapas de los procedimientos y algoritmos que se resumen en esta descripción se pueden secuenciar de forma diferente a las secuencias descritas antes que sirvieron como ejemplos únicamente. Está claramente contemplado que la secuenciación de estas etapas puede alternarse y, en algunos casos, opcionalmente eliminarse y todavía satisfacer los nuevos requerimientos de la presente invención.
- 10 Debe apreciarse que las formas de realización preferidas descritas anteriormente se citan a modo de ejemplo y que el alcance completo de la invención está limitado únicamente por las reivindicaciones siguientes.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de calibración (90) que comprende:

5 Una pluralidad de emisores de campo (56, 58, 60), teniendo cada emisor de campo una pluralidad de elementos emisores (32-48), generando cada elemento emisor un campo magnético distintos entre sí a través de energización simultánea de dichos elementos emisores (32-48);

10 un procesador de señal (25) que está conectado de forma operativa a dichos emisores de campo (56, 58 y 60);

un sensor de posiciones de prueba (100) que tiene tres bobinas sensoras (102, 104, 106); y

un dispositivo de posicionamiento (110);

15 donde dicho sensor de posiciones de prueba (100) está conectado de forma operativa a dicho procesador de señal (25) y a dicho dispositivo de posicionamiento (110);

20 donde dicho dispositivo de posicionamiento (110) está conectado de forma operativa a dicho procesador de señal (25);

donde dicho procesador de señal (25) está pre-programado con una pluralidad de posiciones de prueba dentro de un sistema de coordenadas que define un volumen de mapeo alineado sustancialmente con un volumen de operación producido por los emisores (56, 58 y 60) cuando se energizan;

25 donde dicho procesador de señal (25) está adaptado para guiar dicho sensor de posiciones de prueba (100) hacia cada una de dichas posiciones de prueba por medio de dicho dispositivo de posicionamiento (110); y

30 donde dicho procesador de señal (25) está adaptado para recibir una señal sensora de dicho sensor (100), indicativa del campo magnético sentido en dicho sensor, donde dicha señal sensora define un campo magnético medido en dicho sensor; dicho procesador de señal también está adaptado para correlacionar un valor de campo magnético teórico conocido para cada posición de prueba con el campo medido real, y almacenar los resultados correlacionados para la corrección de los campos magnéticos teóricos.

35 2. El sistema según la reivindicación 1, en el que el dispositivo de posicionamiento comprende un brazo robótico (110).

3. El sistema según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que dichas bobinas sensoras (102, 104, 106) son mutuamente ortogonales.

40 4. Un procedimiento de calibración para usar con un sistema (90) de acuerdo con la reivindicación 1 capaz de generar un campo magnético para seguir una posición de un dispositivo, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

45 proporcionar una pluralidad de generadores de campo (56, 58, 60), cada uno de ellos con una pluralidad de elementos emisores (32-48), cada elemento emisor adaptado para generar un campo magnético distintos entre sí a través de energización simultánea de dichos elementos emisores;

proporcionar un procesador de señal (25) conectado de forma operativa a dichos emisores de campo (56, 58, 60);

50 proporcionar un sensor de posiciones de prueba (100) que posee tres bobinas sensoras mutuamente ortogonales (102, 104, 106); y

55 proporcionar un dispositivo de posicionamiento (110), en el que dicho sensor de posiciones de prueba (100) está conectado de forma operativa a dicho procesador de señal (25) y a dicho dispositivo de posicionamiento (110) y dicho dispositivo de posicionamiento está conectado de forma operativa a dicho procesador de señal (25);

60 preprogramar dicho procesador de señal (25) con una pluralidad de posiciones de prueba en un sistema de coordenadas que define un volumen de mapeo alineado sustancialmente con un volumen de operación producido por los emisores (56, 58, 60) cuando se energizan;

llevar el sensor de posiciones de prueba (100) a una posición de prueba especificada (X_0 , Y_0 , Z_0);

65 tomar una medida del campo magnético del componente Z usando la bobina Z (106) del sensor de posiciones de prueba (100);

desplazar el dispositivo de posicionamiento (110) de forma que la bobina Y (104) del sensor de posiciones de prueba (100) está en el punto previamente ocupado por la bobina Z (106);

ES 2 265 396 T3

tomar una medida del campo magnético del componente Y (104) usando la bobina Y del sensor de posiciones de prueba (100);

desplazar el dispositivo de posicionamiento (100) de forma que la bobina X (102) del sensor de posiciones de prueba (100) está en el punto previamente ocupado por la bobina Z (106) durante la primera medición y por la bobina Y (104) durante la segunda medición;

tomar una medida del campo magnético del componente X usando la bobina X (102) del sensor de posiciones de prueba (100);

correlacionar los valores del campo magnético teórico conocidos con los campos medidos reales;

y

guardar los resultados de la correlación para corregir los campos magnéticos teóricos.

5. El procedimiento de la reivindicación 4, que además comprende las etapas de desplazar el sensor de posiciones de prueba (100) a una siguiente posición predeterminada; y

Repetir las etapas de tomar medidas y desplazar el dispositivo de posicionamiento (110).

6. Un procedimiento de calibración para usar con un sistema (90) de acuerdo con la reivindicación 1 capaz de generar un campo magnético para seguir una posición de un dispositivo, justificando el procedimiento por los objetos metálicos estáticos y comprendiendo las etapas de:

(a) definir un volumen de mapeo (200a) dentro del campo magnético generado;

(b) colocar un objeto metálico dentro del volumen de mapeo;

(c) alinear un sensor (100) en un primer punto (210) dentro del volumen de mapeo y medir el campo magnético en el primer punto con el sensor para establecer una primera posición en la coordenada (X_i , Y_i , Z_i);

(d) desplazar el sensor a un punto siguiente (220; $X_i + dx$, $Y_i + dy$, $Z_i + dz$) a lo largo de un eje de coordenadas (210, 220, 230, 240, 250) mediante un componente de distancia añadido (dx , dy , dz) y medir el campo magnético en el siguiente punto para establecer una siguiente posición en las coordenadas;

(e) interpolar el campo magnético en un punto intermedio (220a) entre la primera posición (210) y la siguiente posición en las coordenadas (220) para establecer una posición en las coordenadas intermedia interpolada;

(f) determinar la diferencia de posición entre la posición en las coordenadas intermedia interpolada (220a) y una posición en las coordenadas intermedia real;

(g) comparar la diferencia de posición con un límite de error;

(h) establecer (X_i , Y_i , Z_i) del siguiente punto como ($X_i = X_i + dx$, $Y_i = Y_i + dy$, $Z_i = Z_i + dz$) si la diferencia de posición está dentro del límite de error y repetir las etapas (d)-(g) a lo largo de otro eje de coordenadas (210, 220, 230, 240, 250); y

(i) establecer el componente de distancia añadido (dx , dy , dz) disminuyendo el valor del componente de distancia añadido si la diferencia de posición no está dentro del límite de error y repetir las etapas (d)-(g) a lo largo del mismo eje de coordenadas.

7. Un procedimiento de calibración para usar con un sistema (90) de acuerdo con la reivindicación 1 capaz de generar un campo magnético para seguir una posición de un dispositivo, justificando el procedimiento por los objetos metálicos estáticos y comprendiendo las etapas de:

(a) definir un volumen de mapeo (200a) dentro del campo magnético generado;

(b) colocar un objeto metálico dentro del volumen de mapeo;

(c) alinear un sensor (100) en un primer punto (210) dentro del volumen de mapeo y medir el campo magnético en el primer punto con el sensor para establecer una primera posición en la coordenada (X_i , Y_i , Z_i);

(d) extrapolar el campo magnético de un punto siguiente (220; $X_i + dx$, $Y_i + dy$, $Z_i + dz$) a lo largo de un eje de coordenadas (210, 220, 230, 240, 250) mediante un componente de distancia añadida (dx , dy , dz);

(e) calcular la posición de las coordenadas en el siguiente punto (220) extrapolado sobre la base del campo magnético extrapolado para establecer una posición en las coordenadas extrapolada;

ES 2 265 396 T3

(f) determinar la diferencia de posición entre la posición en las coordenadas extrapolada y la posición (220) en las coordenadas real del siguiente punto;

(g) comparar la diferencia de posición con un límite de error;

(h) establecer el componente de distancia añadida (dx, dy, dz) de acuerdo con una distancia predeterminada so la diferencia de posición está dentro del límite de error, alinear el sensor (100) a un punto nuevo (230) dentro del volumen de mapeo a lo largo de otro eje de coordenadas (210, 220, 230, 240, 250) y medir el campo magnético en el nuevo punto con el sensor para establecer una nueva posición de coordenadas y repetir las etapas (d)-(g) a lo largo de otro eje de coordenadas; y

(i) establecer el componente de distancia añadida (dx, dy, dz) disminuyendo el valor del componente de distancia añadida si la diferencia de posición no está dentro del límite de error y establecer un punto intermedio (220b) mediante la repetición de las etapas (d)-(g) a lo largo del mismo eje de coordenadas.

8. El procedimiento de la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que el procedimiento de calibración se completa para todo el volumen de mapeo.

9. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que el volumen de mapeo es de aproximadamente 20 cm x 20 cm x 20 cm.

10. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en el que el límite de error es ≤ 1 mm.

11. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, en el que el sensor (100) es desplazado a una distancia variable de aproximadamente 2 cm a aproximadamente 3 cm.

12. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11, en el que cada vez que el sensor (100) es desplazado lo hace a una distancia constante.

13. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11, en el que el componente de distancia añadida es disminuido mediante una división por un factor de dos ($X_i + dx/2$, $Y_i + dy/2$, $Z_i + dz/2$).

14. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 13, en el que el sensor (100) es desplazado de acuerdo a los vértices (210, 220, 230, 240, 350) de un cubo (200a, 200b) y el volumen de mapeo completo comprende una pluralidad de cubos.

15. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 14, en el que el sensor (100) es desplazado por un brazo robótico (110).

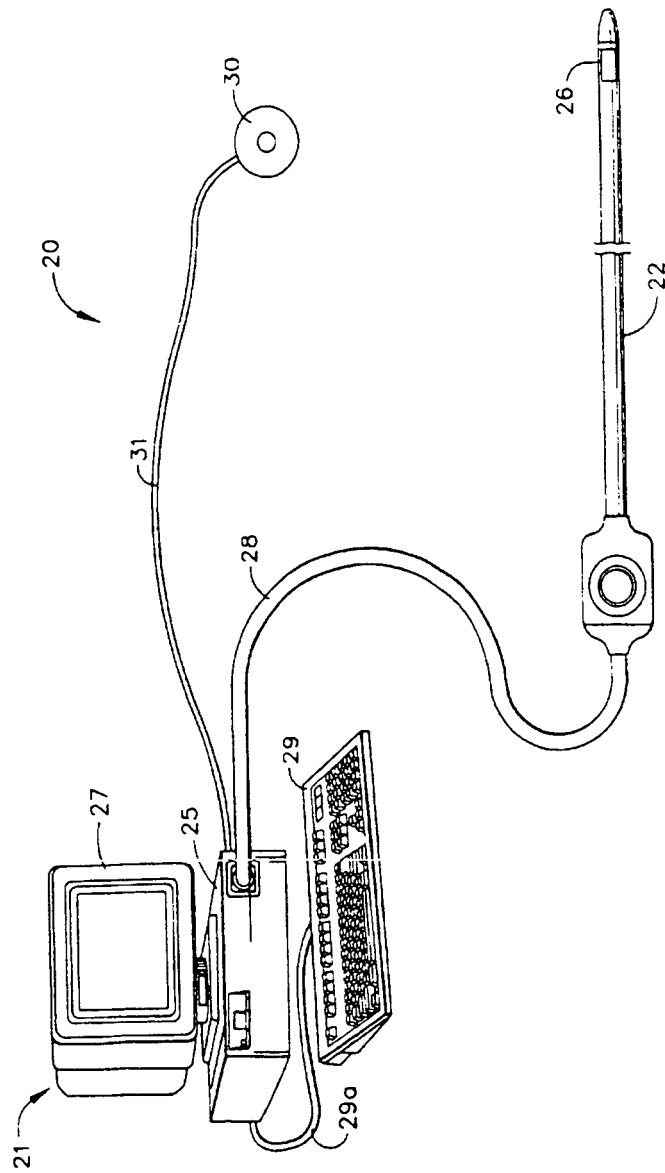


FIG. 1

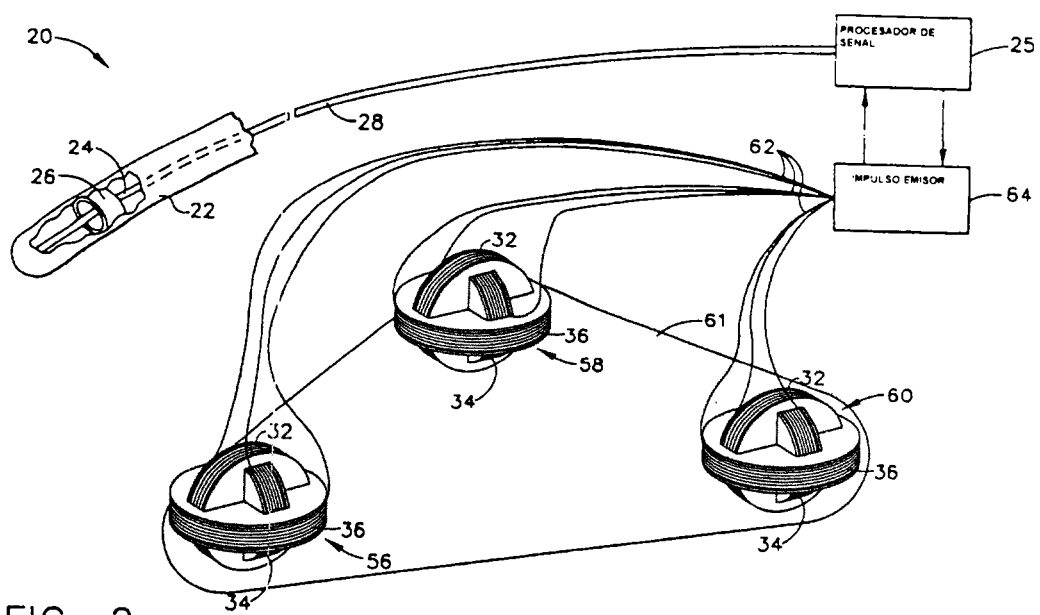


FIG. 2

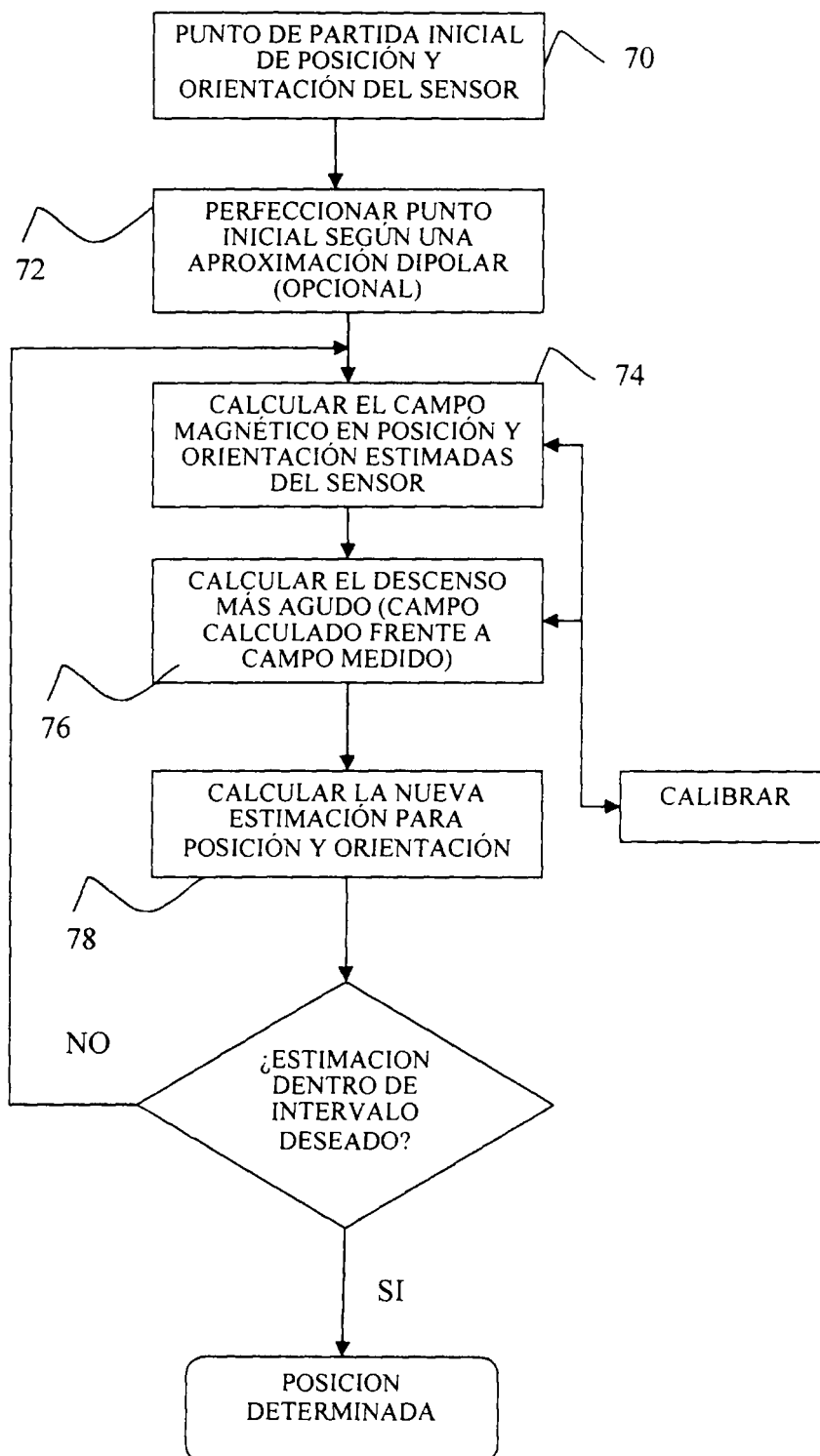
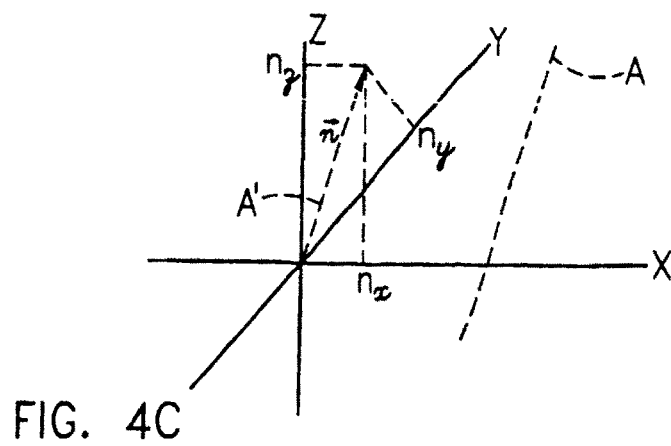
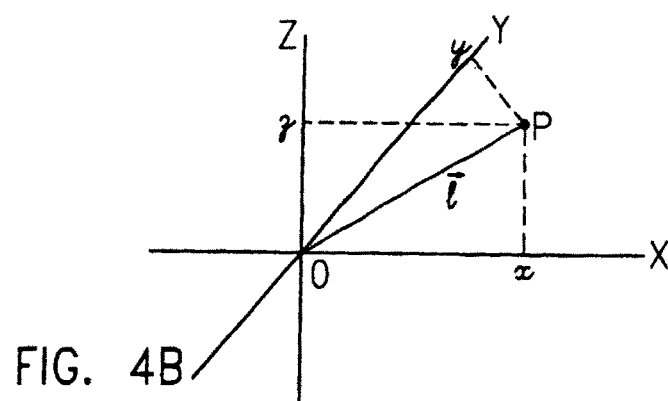
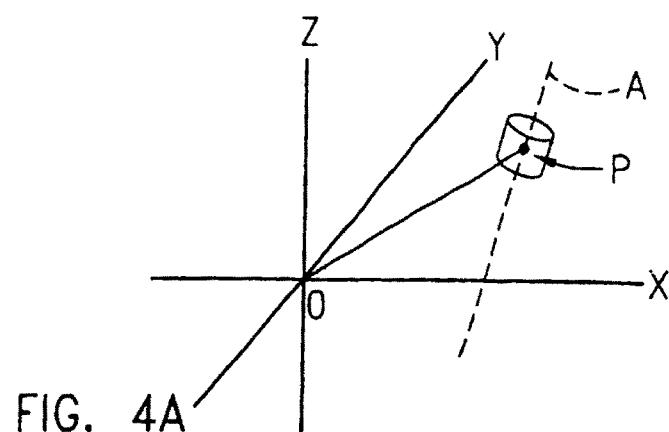


FIGURA 3



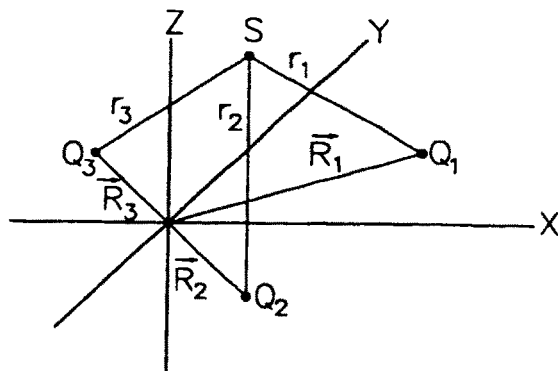


FIG. 4D

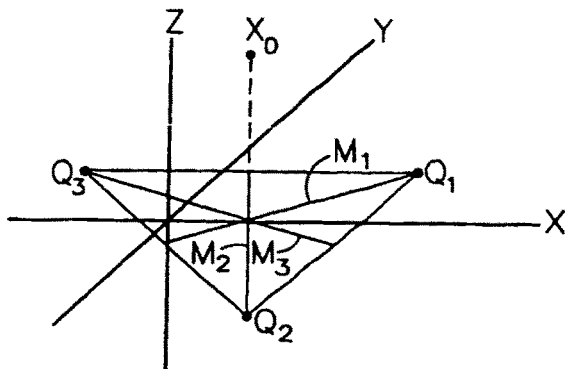


FIG. 4E

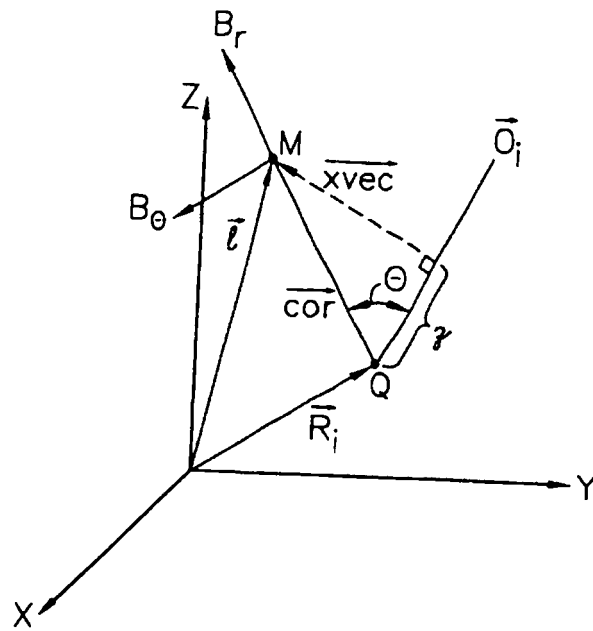


FIG. 4F

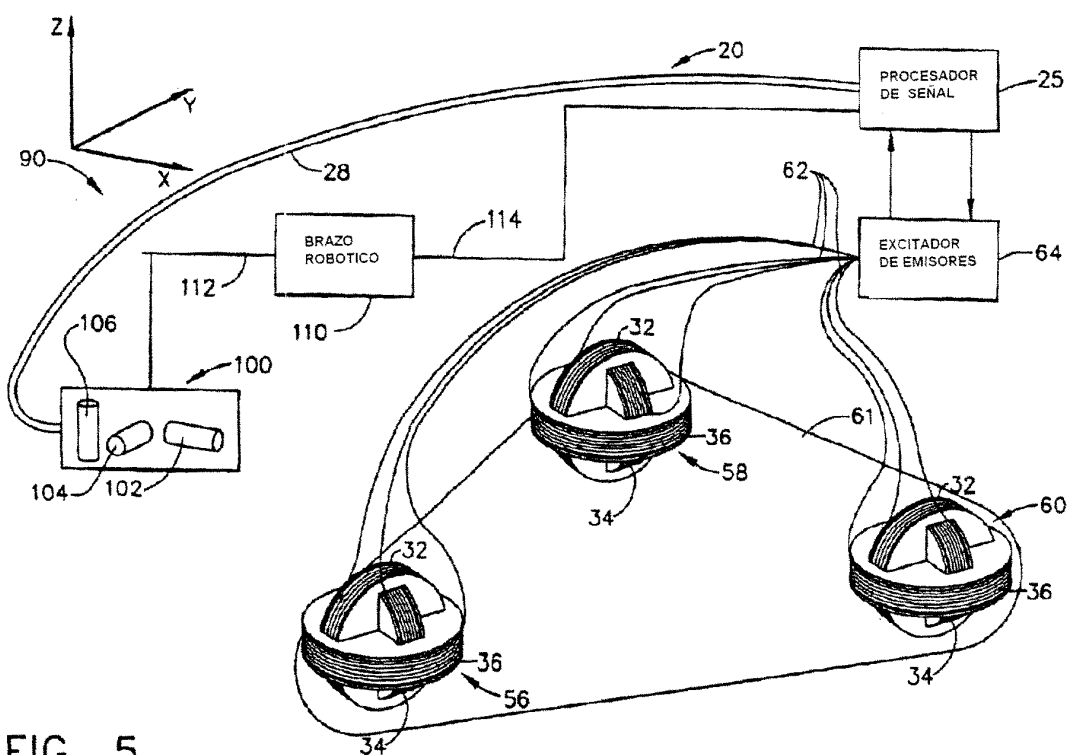


FIG. 5

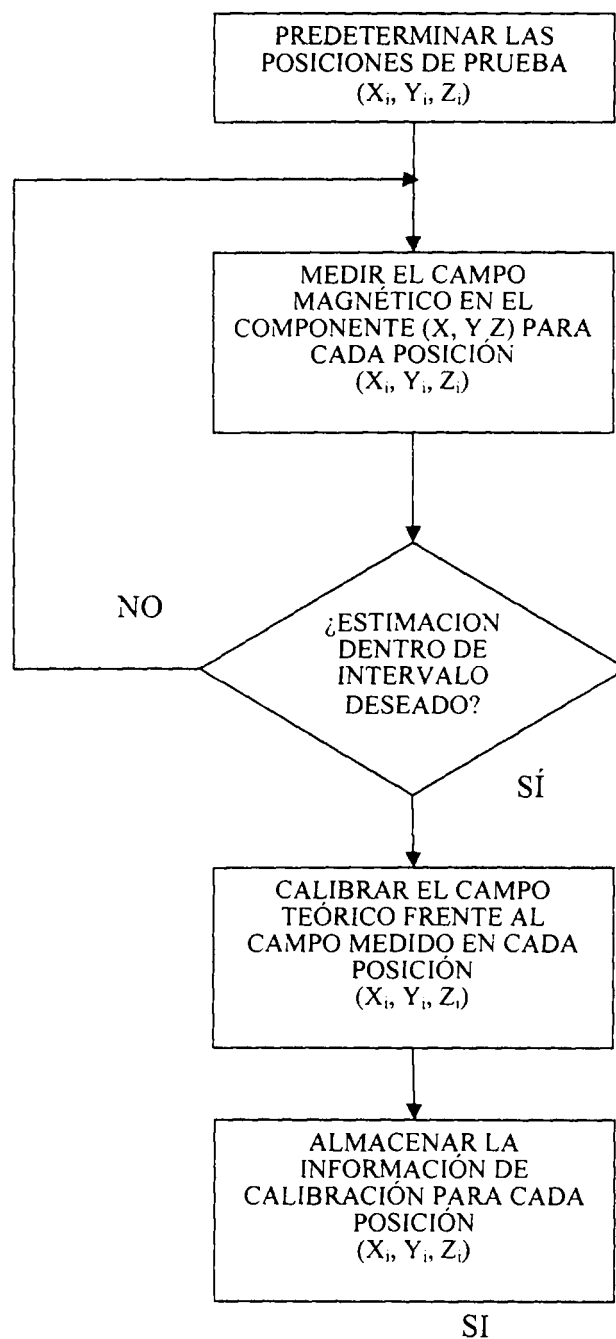


FIGURA 6

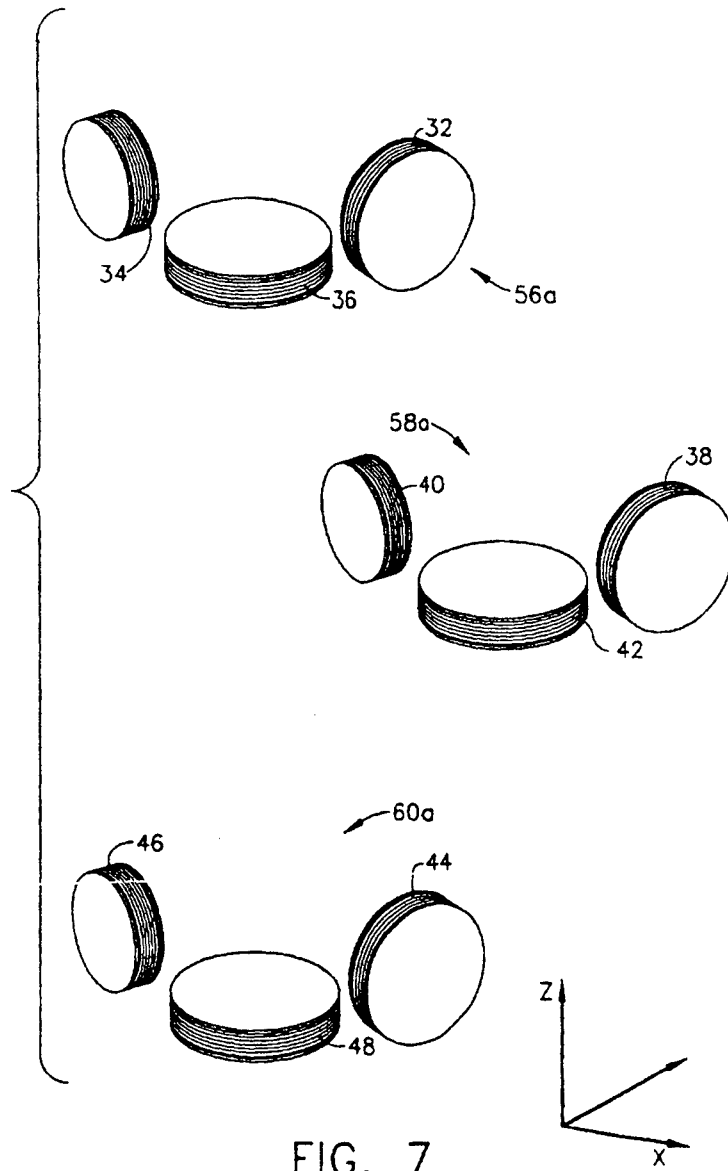


FIG. 7

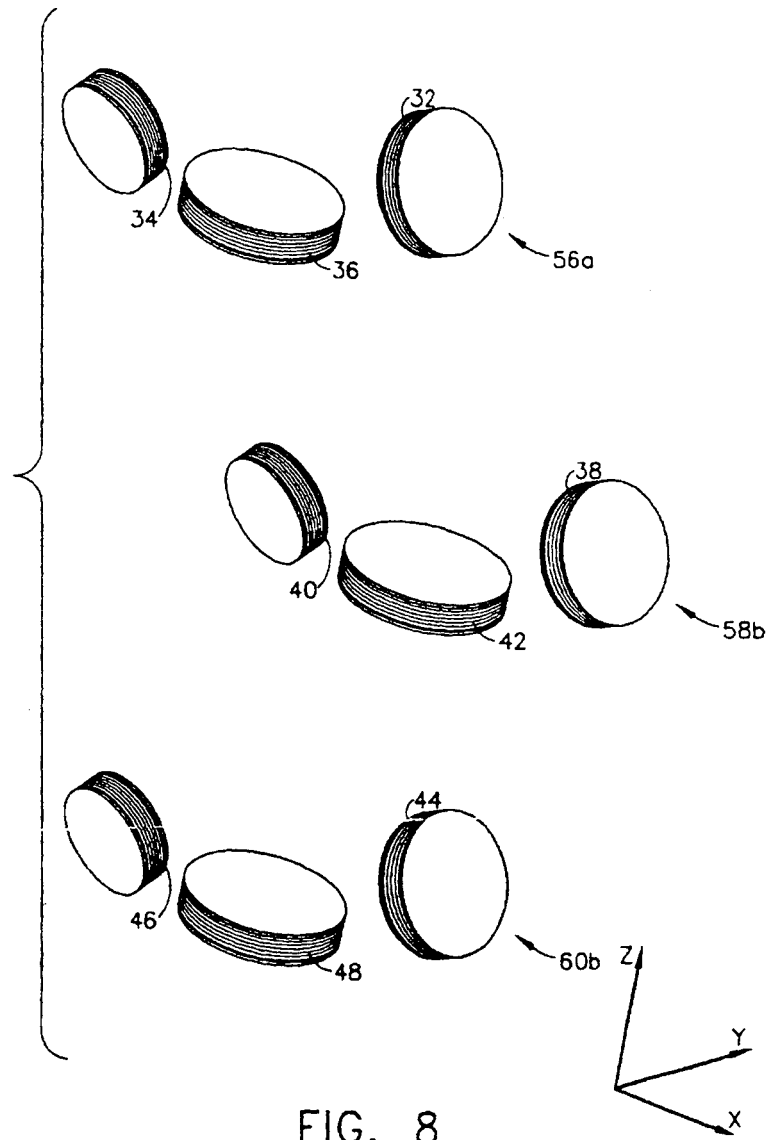
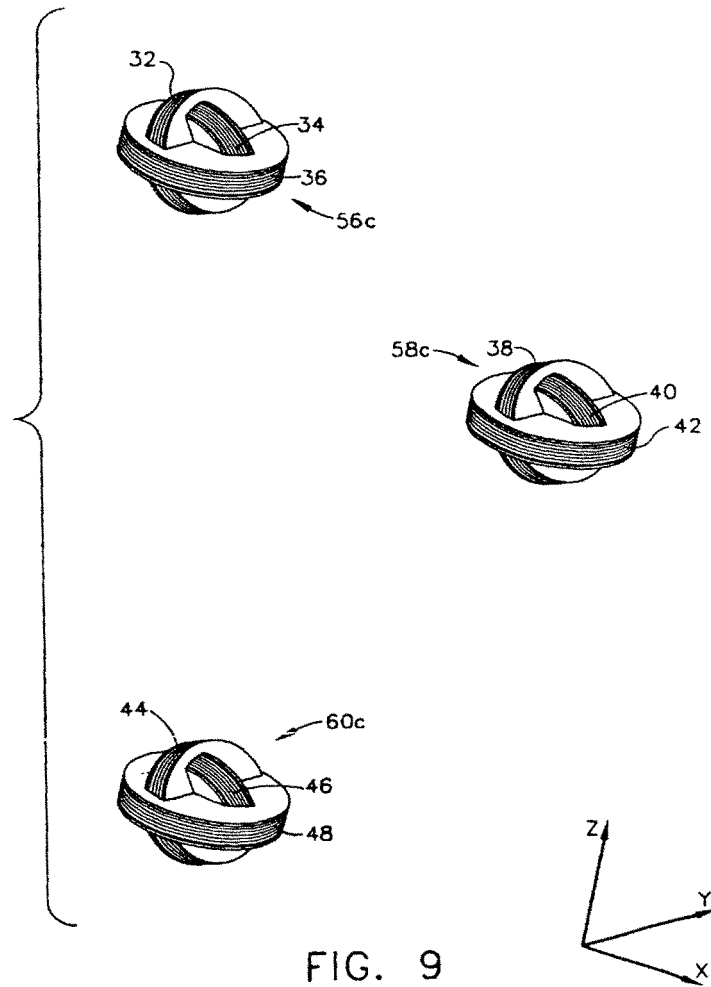


FIG. 8



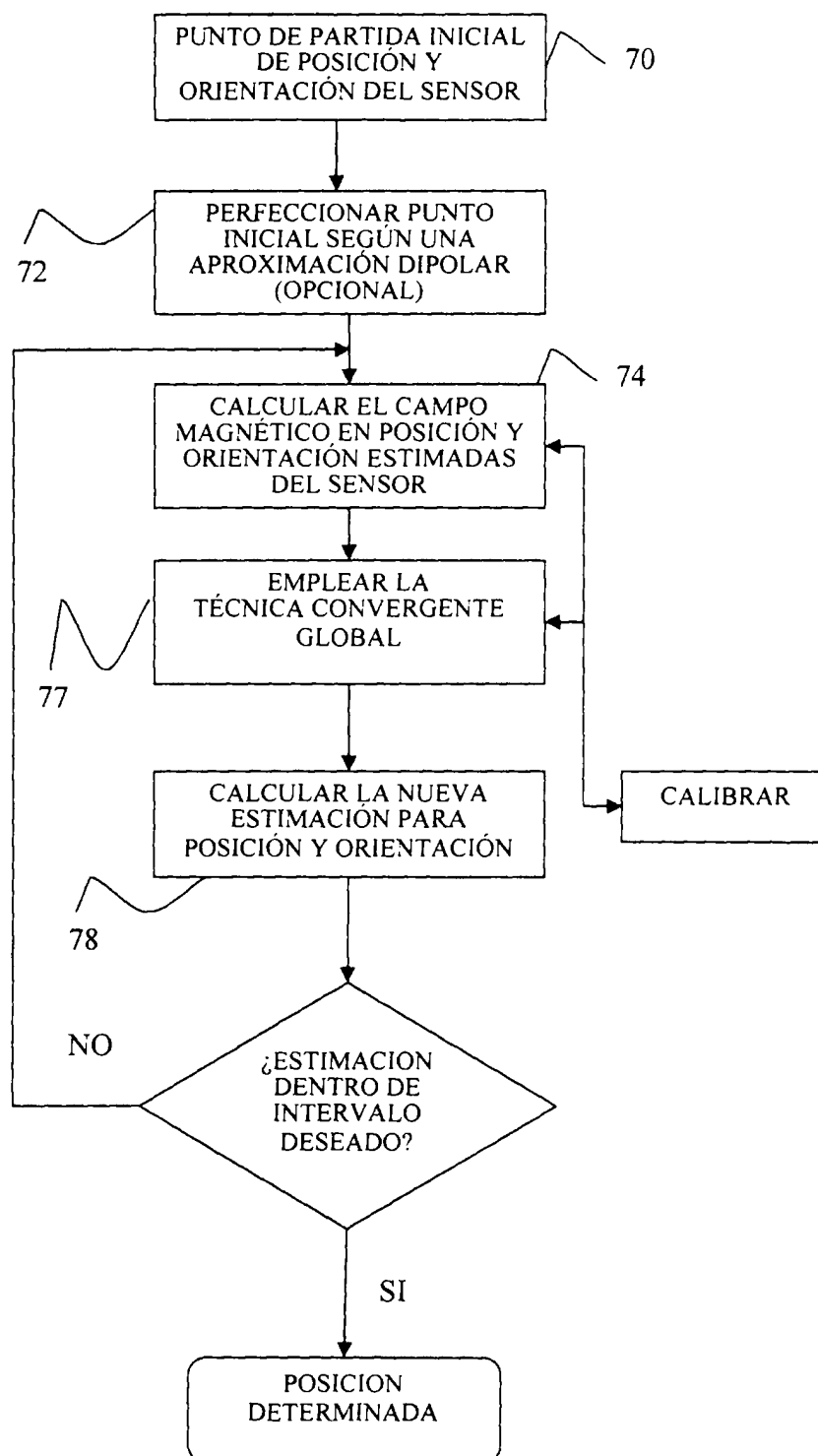


FIGURA 10

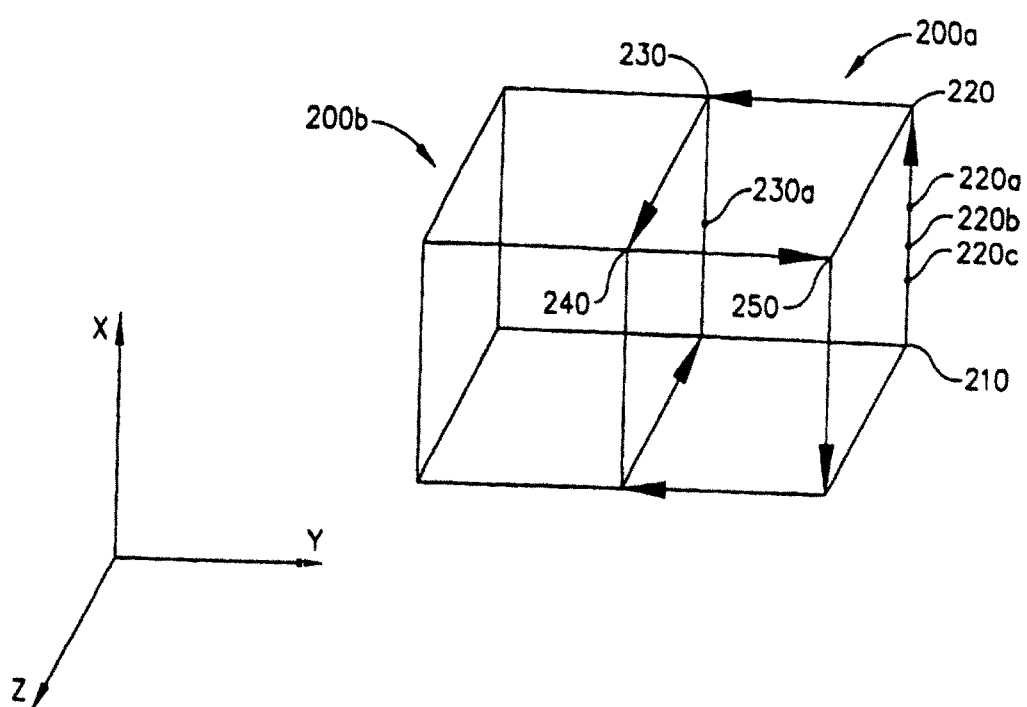


FIG. 11

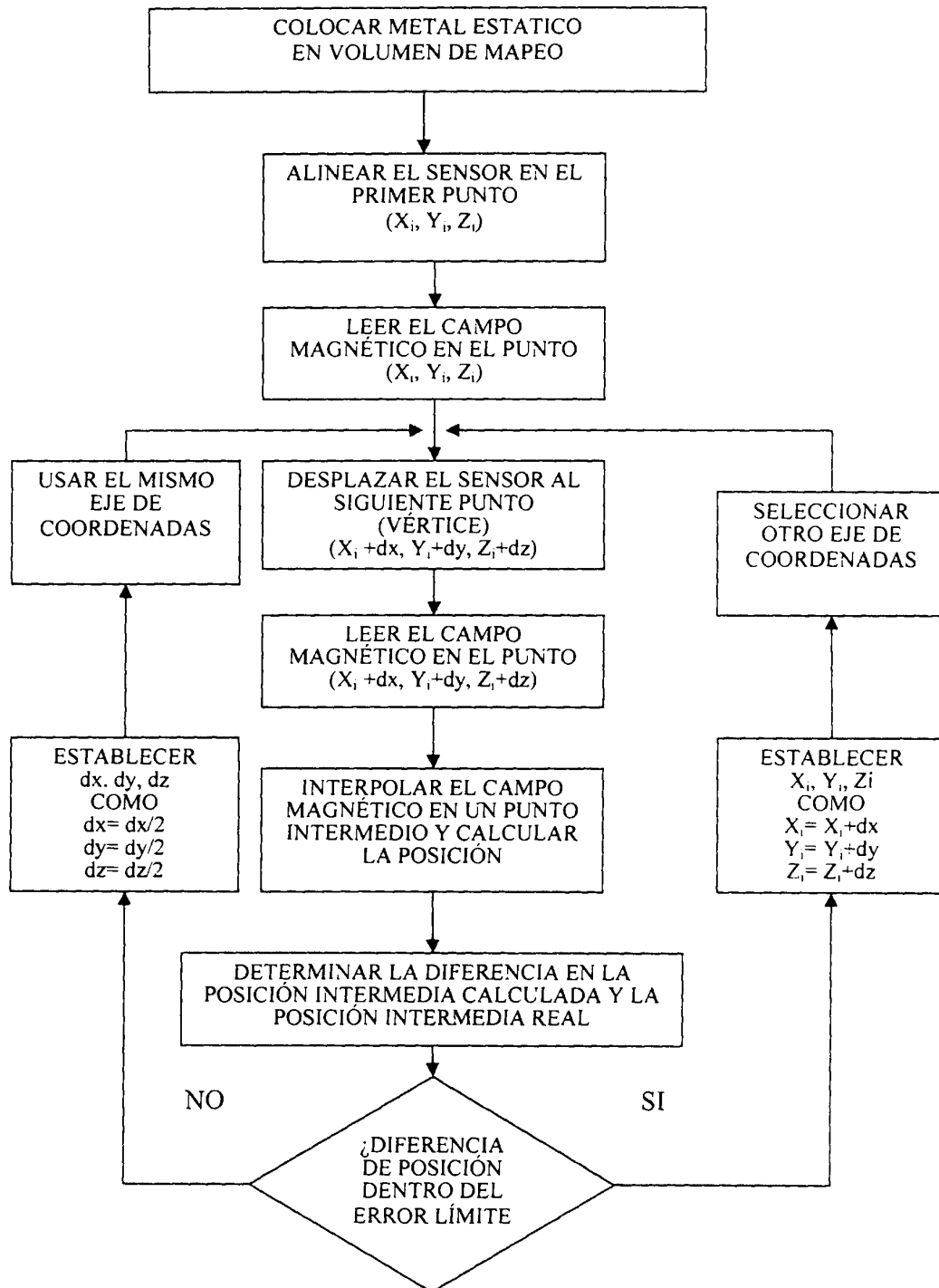


FIGURA 12

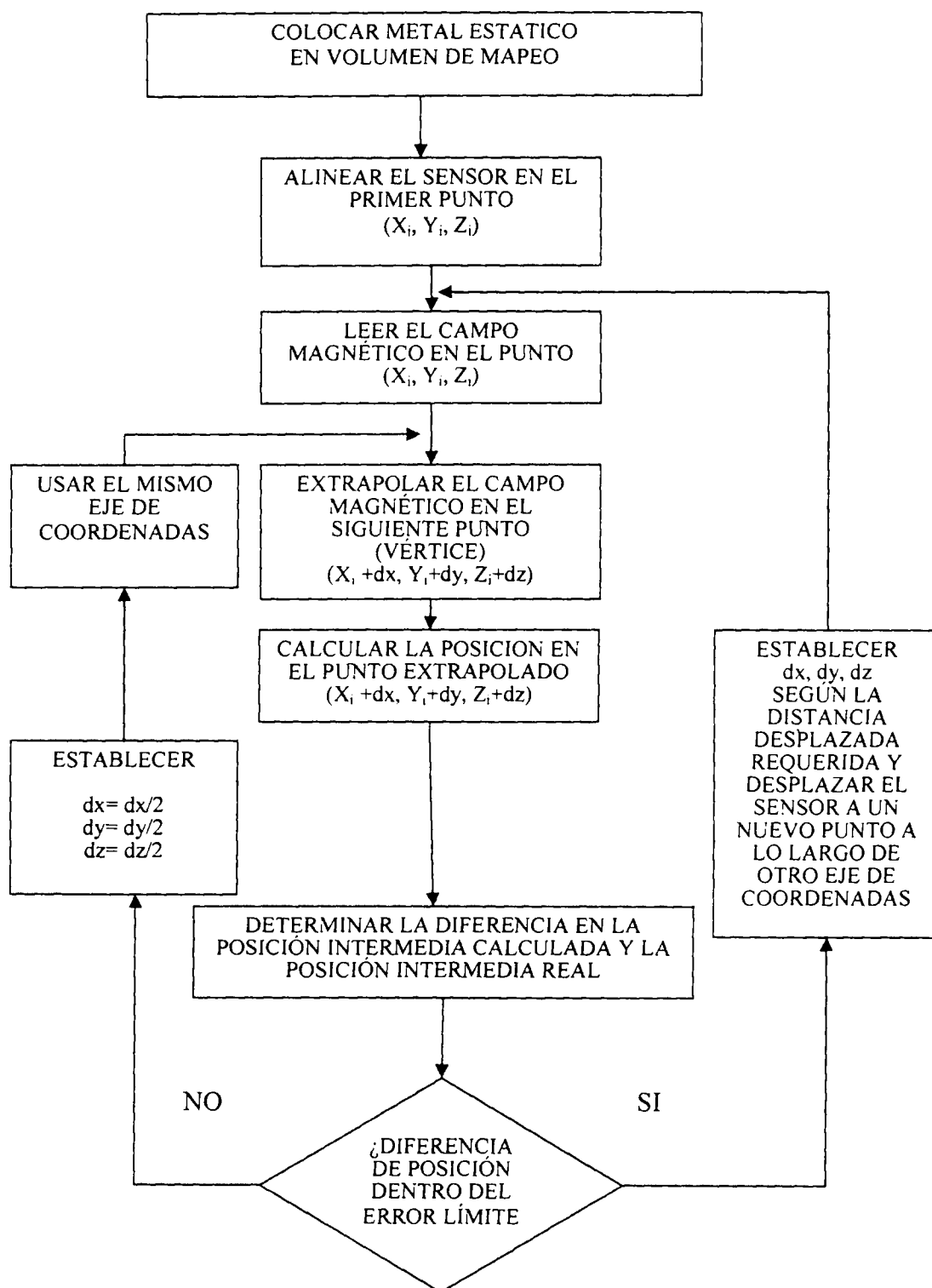


FIGURA 13