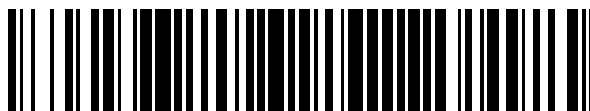


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 690 247**

51 Int. Cl.:

**G01V 3/08** (2006.01)

**G01R 33/10** (2006.01)

**G01B 7/00** (2006.01)

**G01V 13/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2015** **E 15201712 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.08.2018** **EP 3037845**

54 Título: **Modelado de un campo magnético**

30 Prioridad:

**22.12.2014 US 201414578553**

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

**20.11.2018**

73 Titular/es:

**BIOSENSE WEBSTER (ISRAEL) LTD. (100.0%)**  
**4 Hatnufa Street**  
**2066717 Yokneam, IL**

72 Inventor/es:

**GOVARI, ASSAF**

74 Agente/Representante:

**IZQUIERDO BLANCO, María Alicia**

**ES 2 690 247 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCION**

Modelado de un campo magnético

**5 CAMPO DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere de manera general a la generación de campos magnéticos, y específicamente al modelado del campo generado.

**10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Una amplia gama de procedimientos médicos implica colocar objetos, como sensores, tubos, catéteres, dispositivos dispensadores, e implantes, dentro del cuerpo. Los métodos de obtención de imágenes en tiempo real se usan a menudo para ayudar a los médicos a visualizar el objeto y su entorno durante estos procedimientos. Algunos métodos rastrean los objetos usando campos magnéticos. Sin embargo, las perturbaciones en el campo magnético pueden crear errores en el rastreo.

Por ejemplo, la Publicación de Patente de Estados Unidos 2014/018662 A1 divulga un método que incluye generar un campo magnético en un volumen predefinido. Se define un modelo de referencia, que modela el campo magnético en múltiples puntos en el volumen usando armónicos esféricos. El campo magnético se mide con un detector de campo, que se acopla a una sonda intra-cuerpo insertada en un órgano de un cuerpo vivo localizado en el volumen. Una función de coste se define comparando el campo magnético medido con el modelo de campo magnético de referencia dentro del volumen. La función de coste se minimiza mediante un cálculo sobre los términos dipolares en una derivada sobre la función de coste para encontrar una posición y orientación que coincida con el campo magnético medido. La posición y orientación encontradas se muestran como la posición y orientación de la sonda en el órgano.

**SUMARIO DE LA INVENCION**

30 Una realización de la presente invención proporciona un método que incluye:

generar un campo magnético en una región desde un primer radiador de campo magnético localizado en una primera posición y un segundo radiador de campo magnético localizado en una segunda posición;  
 35 delinear dentro de la región un volumen que tiene una multiplicidad de vértices;  
 medir los valores respectivos del campo magnético en la multiplicidad de vértices;  
 en respuesta a los valores respectivos, asignar los primeros momentos dipolares respectivos al primer radiador de campo magnético y asignar los segundos momentos dipolares respectivos al segundo radiador de campo magnético en cada uno de la multiplicidad de vértices; y  
 40 calcular un valor del campo magnético dentro del volumen en términos de los primeros momentos dipolares y los segundos momentos dipolares.

El método incluye típicamente, después de calcular el valor, insertar en la región una sonda, configurada para medir el valor del campo magnético, y determinar una localización de la sonda dentro de la región en respuesta al valor medido.

45 En una realización divulgada el volumen es un cubo que tiene ocho vértices.

En una realización divulgada adicional, calcular el valor del campo magnético incluye el primer y segundo radiadores magnéticos que funcionan como dipolos simples que tienen polos que obedecen a una ley de la inversa del cuadrado.

El método puede incluir además asignar los respectivos primeros momentos dipolares al primer radiador de campo magnético y asignar los segundos momentos dipolares respectivos al segundo radiador de campo magnético en respuesta a desplazamientos de la multiplicidad de vértices desde un origen de un marco de referencia definido por el primera posición y la segunda posición.

En una realización alternativa, el valor del campo magnético para un punto dentro del volumen se calcula en términos de una primera media de los primeros momentos dipolares asignados para la multiplicidad de vértices y de una segunda media de los segundos momentos dipolares asignados para la multiplicidad de vértices. Típicamente, la primera y segunda medias son medias ponderadas lineales respectivas calculadas en términos de una localización del punto dentro del volumen.

En una realización alternativa adicional, el primer radiador de campo magnético y el segundo radiador de campo magnético transmiten respectivamente un primer campo magnético alterno a una primera frecuencia y un segundo campo magnético alterno a una segunda frecuencia diferente de la primera frecuencia.

Se proporciona además, de acuerdo con una realización de la presente invención un aparato, que incluye:

5 un primer radiador de campo magnético localizado en una primera posición y un segundo radiador de campo magnético localizado en una segunda posición, los radiadores estando configurados para generar un campo magnético en una región; y  
un procesador, configurado para:

10 delinear dentro de la región un volumen que tiene una multiplicidad de vértices,  
medir los valores respectivos del campo magnético en la multiplicidad de vértices,  
en respuesta a los valores respectivos, asignar los primeros momentos dipolares respectivos al primer radiador de campo magnético y asignar los segundos momentos dipolares respectivos al segundo radiador de campo magnético en cada uno de la multiplicidad de vértices, y  
15 calcular un valor del campo magnético dentro del volumen en términos de los primeros momentos dipolares y los segundos momentos dipolares.

La presente divulgación se entenderá más completamente a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones de la misma, tomada junto con los dibujos, en los que:

### 20 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Fig. 1 es una ilustración esquemática, pictórica de un sistema de modelado de campo magnético, de acuerdo con una realización de la presente invención;  
La Fig. 2 es un diagrama de flujo de los pasos que describe la producción del modelo formado por el sistema de la Fig. 1, de acuerdo con una realización de la presente invención; y  
25 La Fig. 3 es un diagrama esquemático que ilustra los pasos, de acuerdo con una realización de la presente invención.

### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES

#### 30 VISIÓN DE CONJUNTO

Los sistemas de la técnica anterior para modelar campos en una región transmitida por radiadores de campo magnético usan procedimientos matemáticos, como armónicos esféricos, que son computacionalmente pesados. Los procedimientos matemáticos son necesarios para dar cuenta de que los radiadores en la práctica no se comportan como simples radiadores dipolares, y los procedimientos compensan las desviaciones de un modelo de dipolo simple para los radiadores.

40 Las realizaciones de la presente invención adoptan un enfoque diferente, y adoptan un modelo en el que los radiadores se comportan como simples radiadores dipolares. Sin embargo, el momento dipolar adoptado para un radiador dado se supone que es una función de una localización dentro de la región. El uso de este modelo lleva a un cálculo simplificado, sin reducción en la precisión del campo predicho por el modelo en comparación con los sistemas de modelado de la técnica anterior.

45 Por tanto, para un volumen en la región que tiene una multiplicidad de vértices, el campo magnético de una pluralidad de radiadores se mide en cada uno de los vértices. Para un radiador dado, se asigna un momento dipolar respectivo para el radiador para cada uno de los vértices. Un valor del campo magnético en un punto dentro del volumen se calcula en términos de los momentos dipolares respectivos de cada uno de los vértices del volumen. El cálculo se hace encontrando una media, típicamente una media ponderada lineal, de los momentos dipolares asignados para la multiplicidad de vértices.

50 El inventor ha descubierto que aplicar el cálculo a volúmenes contiguos que llenan la región proporciona un método eficiente, rápido y preciso para modelar el campo magnético en la región. Además, el cálculo lleva a que el campo magnético modelado sea continuo sobre toda la región, aunque no necesariamente sea diferenciable en los límites del volumen.

#### 55 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

60 Se hace ahora referencia a la Fig. 1, que es una ilustración pictórica esquemática de un sistema de modelado de campo magnético 20 de acuerdo con una realización de la presente invención. El sistema 20 produce un modelo del campo magnético generado por una pluralidad de radiadores de campo magnético alternos 22 generalmente similares que transmiten a una región 24. La región 24 está representada esquemáticamente por una elipse en la figura.

65 Típicamente, una vez que el campo ha sido modelado por el sistema 20, se coloca a un paciente en el campo. Una sonda de catéter 26 se inserta en un órgano del paciente por un profesional médico, y se mide el campo

magnético en la sonda. (Por claridad, la sonda 26 se muestra en la Fig. 1 con líneas discontinuas). El valor medido se compara con los valores del campo derivados del modelo, y la comparación determina la posición y la orientación de la sonda dentro del órgano del paciente. El paciente típicamente se acuesta (con su órgano dentro de la región 24) en una mesa de operaciones 30 durante un procedimiento realizado por el profesional médico. Por claridad y simplicidad, no se muestran en la Fig. 1 ni el paciente ni el profesional médico.

En realizaciones de la presente invención, hay radiadores 22, donde  $p$  es un número entero mayor que uno. Los radiadores 22 también son referidos en la presente como  $R_1, R_2, \dots, R_n, \dots, R_p$ , donde  $1 < n \leq p$  y  $n$  es un número entero. Los radiadores están fijos con respecto a la mesa 30, y los radiadores fijos definen un marco de referencia de radiadores, que tiene un conjunto ortogonal de ejes  $xyz$ . Como se ha indicado anteriormente, los radiadores 22 transmiten campos magnéticos alternos en la región, y los radiadores  $R_1, R_2, \dots, R_n, \dots, R_p$ , se supone que radian a las frecuencias respectivas  $f_1, f_2, \dots, f_n, \dots, f_p$ .

En una realización, se supone que los radiadores están agrupados en tres conjuntos de radiadores 34, 36 y 38 fijados a una plataforma de localización 40, que está a su vez fijada a la mesa. Cada conjunto comprende tres bobinas triaxiales, que son ortogonales entre sí y que actúan como tres radiadores de campo magnético. Así, el conjunto 34 comprende los radiadores  $R_1, R_2, R_3$ , el conjunto 36 comprende los radiadores  $R_4, R_5, R_6$ , y el conjunto 38 comprende los radiadores  $R_7, R_8, R_9$ . La Patente de Estados Unidos 6.484.118, de Govari describe tal disposición de bobinas usadas como radiadores de campo magnético. A modo de ejemplo, se supone que los ejes  $xyz$  del marco de referencia de radiadores tienen su origen en la plataforma de localización 40, y se supone que el eje  $z$  es perpendicular a la plataforma de localización. (Por claridad, la Fig. 1 muestra los ejes  $xyz$  separados de la plataforma de localización).

Sin embargo, se entenderá que la disposición de nueve radiadores asumida anteriormente es a modo de ejemplo, de manera que otras realizaciones de la presente invención tienen otros números y/o disposiciones de radiadores. La Patente de Estados Unidos 6.484.118, mencionada anteriormente, describe otras disposiciones de radiadores. En un entorno operativo en el que los campos magnéticos de los radiadores se distorsionan, como en una instalación de obtención de imágenes por resonancia magnética (MRI), una realización divulgada utiliza 15 radiadores.

Una unidad de control 50 maneja el sistema 20. La unidad de control 50 incluye un procesador 52, típicamente un ordenador con circuitos de procesamiento de señales apropiados. La unidad 50 comprende un módulo generador de campo magnético 60, cuyo procesador 52 se usa para controlar radiadores 22. La unidad de control también comprende un módulo de medición de campo magnético 64, que está configurado para recibir señales de una o más sondas posicionadas en el campo generado por los radiadores 22, y para evaluar, típicamente junto con el procesador 52, el campo en la una o más sondas. El procesador usa una memoria 54, que típicamente comprende dispositivos de almacenamiento de datos tanto volátiles como no volátiles, en donde se almacenan los datos para el sistema operativo 20. El procesador está acoplado típicamente para proporcionar una pantalla visual 56 a un operario del sistema 20.

Típicamente, el procesador 52 está programado en software para llevar a cabo las funciones descritas en la presente. El software puede descargarse al procesador de forma electrónica, a través de una red, por ejemplo, o puede, alternativa o adicionalmente, proporcionarse y/o almacenarse en medios tangibles no transitorios, como memoria magnética, óptica o electrónica.

El sistema 20 también comprende un aparato que puede medir los campos magnéticos que se transmiten por los radiadores 22 a la región 24. En una realización de la presente invención, se usa un mapeador 70 para medir los campos magnéticos, el mapeador comprende una matriz de  $q$  detectores de campo magnético 72 que están montados de manera fija en posiciones conocidas sobre bases sólidas, como láminas de plástico. El mapeador 70 está configurado de tal manera que puede colocarse sobre la mesa 30 en una posición y orientación predeterminadas conocidas con relación a la plataforma de localización 40. En una realización, los detectores 72 están dispuestos de tal manera que estén en los vértices de volúmenes cúbicos que llenan la región 24. En una realización los bordes de los volúmenes cúbicos son de 2 cm de largo, de tal manera que los vértices están separados por 2 cm. Sin embargo, puede usarse cualquier otra longitud conveniente de los bordes.

Los detectores 72 pueden comprender cualquier sensor conveniente para medir la magnitud y la dirección de un campo magnético alterno, como sondas Hall o una o más bobinas. Las señales de los detectores se transfieren al módulo 64, típicamente mediante un cable 74, aunque puede usarse cualquier otro método de transferencia conveniente, como transmisión inalámbrica. El módulo 64 y/o el procesador 52 usa las señales para medir el campo en los detectores.

Los sistemas de medición de campo que son una alternativa al mapeador 70 serán evidentes para los expertos en la técnica. Por ejemplo, en lugar de una matriz de detectores 72, uno o más detectores sustancialmente iguales a los detectores 72 pueden montarse en una plantilla que está configurada para trasladarse por distancias conocidas en tres dimensiones, y las mediciones del campo se realizan a medida que uno o más detectores

atraviesan la región 24. Se supone que otros sistemas de este tipo, que son evidentes para un experto en la técnica, están comprendidos dentro del alcance de la presente invención, que se define solamente por las reivindicaciones adjuntas.

5 Como se describe con más detalle a continuación, el mapeador 70 puede usarse en una fase de calibración del sistema 20. El mapeador y su cable se retiran cuando el sistema 20 está en una fase operativa.

10 La Fig. 2 es un diagrama de flujo de los pasos que describen la producción del modelo formado por el sistema 20, y la Fig. 3 es un diagrama esquemático que ilustra los pasos, de acuerdo con una realización de la presente invención. En un paso inicial 200, los radiadores 22 están fijados en su posición, y se miden las localizaciones de cada uno de los radiadores  $R_1, R_2, \dots, R_n, \dots, R_p$ . La Fig. 3 ilustra localizaciones de dos radiadores  $R_1, R_2$ , que tienen vectores de localización  $r_1, r_2$  respectivos.

15 En un paso de montaje 202, se establece un sistema para medir los campos, generados por los radiadores 22, en localizaciones conocidas en la región 24. Por claridad, en la descripción de la presente, se supone que la configuración del sistema comprende el mapeador 70, con los detectores 72 dispuestos en los vértices de los cubos. La Fig. 3 ilustra un cubo que tiene ocho vértices de cubo,  $V_1, V_2, \dots, V_8$ , que se supone que tienen los vectores de localización  $c_1, c_2, \dots, c_8$  respectivos. Para los  $q$  detectores del mapeador 70, hay  $q$  vértices  $V_1, V_2, \dots, V_q$  cada uno de los cuales tiene un vector de localización  $c_1, c_2, \dots, c_q$ . En la siguiente descripción, se supone que un vértice genérico en la región 24 tiene un vector de localización  $c_m$ , donde  $m$  es un índice, y los vértices también pueden ser referidos en la presente por sus vectores de localización.

20 En un paso de medición 204, los radiadores 22 se activan y la magnitud y dirección del campo respectivo de cada radiador 22 se mide por cada detector 72. Por tanto, si hay nueve radiadores, cada detector mide nueve magnitudes y nueve direcciones para el campo de los radiadores. En general, cada uno de los  $q$  detectores mide las  $p$  magnitudes y las  $p$  direcciones de los campos de los  $p$  radiadores.

25 En un paso de cálculo 206, para cada vértice, el procesador 52 calcula un momento dipolar eficaz respectivo para cada radiador  $R_n$ . El cálculo supone que cada radiador es un dipolo simple que tiene una ecuación de campo dipolar derivada de una ley de la inversa del cuadrado que obedecen los polos magnéticos del dipolo. La ecuación del campo dipolar simple viene dada por la ecuación (1):

30

$$H(\mathbf{r}) = \frac{1}{4\pi} \left( \frac{3\mathbf{r}(\mathbf{m} \cdot \mathbf{r})}{|\mathbf{r}|^5} - \frac{\mathbf{m}}{|\mathbf{r}|^3} \right) \quad (1)$$

35

en la que  $\mathbf{m}$  es el momento dipolar del radiador,  
 $\mathbf{r}$  es el desplazamiento de un punto desde el radiador.  
 40 y  $H$  es el campo generado por el radiador en el punto.  $H, \mathbf{m}$  y  $\mathbf{r}$  son vectores.

Para un radiador  $R_n$ , que irradia a una frecuencia  $f_n$  a un vértice  $c_m$ , y donde el vértice tiene un desplazamiento  $r_{nm}$  desde el radiador, la ecuación (1) puede reescribirse:

45

$$H_{nm} = f(m_{nm}, r_{nm}) \quad (2)$$

en la que  $m_{nm}$  es el momento dipolar eficaz del radiador  $R_n$  en el vértice  $c_m$ ,  
 $r_{nm}$  es el desplazamiento del vértice  $c_m$  del radiador,  
 $H_{nm}$  es el campo generado por el radiador en el vértice, y  
 50  $f$  es una función dada por la ecuación (1).

La ecuación (2) puede reescribirse como la ecuación (3):

55

$$m_{nm} = g(H_{nm}, r_{nm}) \quad (3)$$

en la que  $m_{nm}, H_{nm}, r_{nm}$  se definen anteriormente con referencia a la ecuación (2), y  $g$  es una función derivada de la función  $f$ .

60 Por tanto, en el paso 206, el procesador usa la ecuación (3) para calcular, para cada vértice  $c_m$ , los momentos dipolares eficaces  $m_{nm}$  para cada radiador  $R_n$ . El procesador almacena los valores de momento dipolar para usar en los pasos restantes del diagrama de flujo.

65 El paso 206 es el paso final de una fase de calibración del sistema de modelado 20, en donde el campo magnético de los radiadores  $R_n$  se ha determinado para los vértices de calibración localizados en la región 24. Los pasos siguientes del diagrama de flujo se basan en los resultados encontrados en el paso 206 y describen un

proceso de interpolación para encontrar una expresión para el campo magnético en cualquier punto de la región 24.

En un paso de identificación 208, se identifican los vértices del cubo en el que está localizado un punto arbitrario A (x, y, z). Refiriéndose a la Fig. 3, se supone que el punto A está en un cubo que tiene los vértices V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, ... V<sub>8</sub>.

En la siguiente descripción, se supone que el origen de las coordenadas de los ejes xyz se ha traducido de su origen inicial a un origen en el vértice V<sub>1</sub>, y se supone que los bordes del cubo definen las direcciones de los ejes. Se entenderá que la traducción es por una cantidad conocida. Además, se supone que el borde del cubo tiene una longitud nominal de 1. En este caso, las coordenadas del punto A tienen la propiedad: 0 ≤ x, y, z ≤ 1. Las suposiciones anteriores simplifican la siguiente descripción, pero se entenderá que las realizaciones de la presente invención no ponen límites a los ejes usados para definir los vértices de los cubos, o sobre las longitudes de los bordes del cubo. (Por claridad, la traducción de los ejes al vértice V<sub>1</sub> no se muestra en la Fig. 3.)

En un primer paso de momento dipolar 210, el procesador recuerda los momentos dipolares eficaces de un radiador R<sub>n</sub> seleccionado, para cada uno de los vértices del cubo. En este caso, los momentos dipolares son m<sub>n1</sub>, m<sub>n2</sub>, m<sub>n3</sub>, ... m<sub>n8</sub>.

El procesador calcula luego, como un momento dipolar eficaz para el punto A, una media de los momentos dipolares eficaces respectivos de los vértices que rodean el punto A. En una realización divulgada descrita en la presente, la media es un media ponderada lineal, pero se entenderá que otras medias, incluyendo incluso una media simple, están incluidas en el alcance de la presente invención.

La ecuación (4) se aplica a la media ponderada lineal:

$$m_n^A = m_{n1}(1-x)(1-y)(1-z) + m_{n2}(x)(1-y)(1-z) + m_{n3}(1-x)(y)(1-z) + m_{n4}(x)(y)(1-z) + m_{n5}(1-x)(1-y)(z) + m_{n6}(x)(1-y)(z) + m_{n7}(1-x)(y)(z) + m_{n8}(x)(y)(z) \quad (4)$$

en la que m<sub>n</sub><sup>A</sup> es el momento dipolar eficaz del Radiador R<sub>n</sub> para el punto A(x,y,z) en el cubo que tiene los vértices V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, ... V<sub>8</sub>.

El procesador usa la ecuación (4) para calcular un momento dipolar eficaz que se usará en el punto A(x,y,z) para cada uno de los p radiadores R<sub>1</sub>, ..., R<sub>p</sub>, encontrando así p momentos dipolares eficaces.

En un segundo paso de momento dipolar 212, el procesador usa los p momentos dipolares eficaces evaluados en el paso 210 para calcular los p campos respectivos generados de los radiadores R<sub>1</sub>, ... R<sub>p</sub> en el punto A (x,y,z). Cada uno de los campos se calcula usando la ecuación (5), que es una adaptación de la ecuación (1):

$$H_{An}(r_A) = \frac{1}{4\pi} \left( \frac{3r(m_n^A \cdot r_A)}{|r_A|^5} - \frac{m_n^A}{|r_A|^3} \right) \quad (5)$$

en la que r<sub>A</sub> es un vector desde el origen inicial de las coordenadas hasta el punto A, H<sub>An</sub>(r<sub>A</sub>) es el campo vectorial del radiador R<sub>n</sub> en el punto A, y m<sub>n</sub><sup>A</sup> se define con referencia a la ecuación (4).

En un último paso de suma 214, el procesador suma vectorialmente todos los p campos H<sub>A1</sub>(r<sub>A</sub>), .. H<sub>An</sub>(r<sub>A</sub>), ... H<sub>Ap</sub>(r<sub>A</sub>) calculados de las aplicaciones de la ecuación (5), de acuerdo a la ecuación (6):

$$H(r_A) = H_{A1}(r_A) + \dots + H_{An}(r_A) + \dots + H_{Ap}(r_A) \quad (6)$$

en la que H(r<sub>A</sub>) es el campo magnético global de todos los radiadores R<sub>1</sub>, ... R<sub>p</sub> en el punto A(x,y,z).

Volviendo a Fig. 1, una vez que se ha realizado el procedimiento del diagrama de flujo de la Fig. 2, el campo magnético se ha modelado para toda la región 24. Se puede colocar un paciente de tal manera que una parte del paciente que se va a investigar esté en la región 24, y la sonda 26 se puede insertar en el paciente, en la región.

La sonda, junto con el módulo de medición de campo magnético 64, mide los valores de todos los

diferentes vectores de los campos magnéticos comprendidos en  $H(r_A)$  (ecuación (6)), usando la propiedad de que cada uno de los componentes del vector se transmite a una frecuencia diferente. A partir del conocimiento de los valores de todos los diferentes componentes y del modelado de los valores de los componentes derivados de la ecuación (5), el procesador 52 deriva la posición, es decir, la localización y la orientación de la sonda 26.

5 Aunque la descripción anterior supone que los detectores 72 están en los vértices de los cubos, se entenderá que los detectores pueden disponerse para estar en los vértices de otros volúmenes sólidos, como tetraedros. Aunque los volúmenes sólidos son típicamente del mismo tipo, por facilidad de cálculo, no hay necesidad de esta limitación, por lo que, por ejemplo, se puede suponer que los detectores están en los vértices de una mezcla de cubos y tetraedros. Por tanto, los vértices correspondientes a los detectores 72 pueden ser vértices de cualquier combinación de volúmenes sólidos que llenen la región 24. Tal combinación típicamente necesita una o más ecuaciones diferentes a la ecuación (4), para derivar la media ponderada para los diferentes volúmenes, pero los cambios necesarios para la ecuación serán evidentes para el experto en la técnica.

10  
15 Se apreciará que las realizaciones descritas anteriormente se citan a modo de ejemplo, y que la presente invención no está limitada a lo que se ha mostrado y descrito particularmente con anterioridad. Más bien, el alcance de la presente invención está definido solamente por las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

## 1. Un método que comprende:

5 generar un campo magnético en una región (24) de un primer radiador de campo magnético ( $R_1$ ) localizado en una primera posición y un segundo radiador de campo magnético ( $R_2$ ) localizado en una segunda posición;  
 10 delinear dentro de la región (24) un volumen que tiene una multiplicidad de vértices ( $V_1, V_2, \dots, V_8$ );  
 medir los valores respectivos del campo magnético en la multiplicidad de vértices ( $V_1, V_2, \dots, V_8$ );  
 en respuesta a los valores respectivos, asignar los primeros momentos dipolares respectivos al primer radiador de campo magnético y asignar los segundos momentos dipolares respectivos al segundo radiador de campo magnético en cada uno de la multiplicidad de vértices ( $V_1, V_2, \dots, V_8$ ); y  
 15 calcular un valor del campo magnético dentro del volumen en términos de los primeros momentos dipolares y los segundos momentos dipolares.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, y que comprende, posteriormente a calcular el valor, insertar en la región (24) una sonda (26), configurada para medir el valor del campo magnético, y determinar una localización de la sonda (26) dentro de la región (24) en respuesta al valor medido.

20 3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el volumen es un cubo que tiene ocho vértices ( $V_1, V_2, \dots, V_8$ ).

4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que calcular el valor del campo magnético comprende el primer y segundo radiadores magnéticos ( $R_1, R_2$ ) que operan dipolos como simples que tienen polos que obedecen a una ley de la inversa del cuadrado.

5. El método de acuerdo con la reivindicación 1, y que comprende asignar los primeros momentos dipolares respectivos al primer radiador de campo magnético ( $R_1$ ) y asignar los segundos momentos dipolares respectivos al segundo radiador de campo magnético ( $R_2$ ) en respuesta a desplazamientos de la multiplicidad de vértices ( $V_1, V_2, \dots, V_8$ ) desde un origen de un marco de referencia definido por la primera posición y la segunda posición.

6. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el valor del campo magnético para un punto dentro del volumen se calcula en términos de una primera media de los primeros momentos dipolares asignados para la multiplicidad de vértices ( $V_1, V_2, \dots, V_8$ ) y de una segunda media de los segundos momentos dipolares asignados para la multiplicidad de vértices ( $V_1, V_2, \dots, V_8$ ).

7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la primera y la segunda medias son medias ponderadas lineales respectivas calculadas en términos de una localización del punto dentro del volumen.

## 8. Un aparato que comprende:

un primer radiador de campo magnético ( $R_1$ ) localizado en una primera posición y un segundo radiador de campo magnético ( $R_2$ ) localizado en una segunda posición, los radiadores estando configurados para generar un campo magnético en una región (24); y  
 45 un procesador, configurado para:

delinear dentro de la región un volumen que tenga una multiplicidad de vértices ( $V_1, V_2, \dots, V_8$ ),  
 50 medir los valores respectivos del campo magnético en la multiplicidad de vértices ( $V_1, V_2, \dots, V_8$ ),  
 en respuesta a los valores respectivos, asignar los primeros momentos dipolares respectivos al primer radiador de campo magnético ( $R_1$ ) y asignar los segundos momentos dipolares respectivos al segundo radiador de campo magnético ( $R_2$ ) en cada uno de la multiplicidad de vértices ( $V_1, V_2, \dots, V_8$ ), y  
 calcular un valor del campo magnético dentro del volumen en términos de los primeros momentos dipolares y los segundos momentos dipolares.

9. El aparato de acuerdo con la reivindicación 8, y que comprende una sonda (26) que se inserta en la región (24) posteriormente al cálculo del valor, y en el que la sonda (26) está configurada para medir el valor del campo magnético, y en el que el procesador está configurado para determinar una localización de la sonda (26) dentro de la región (24) en respuesta al valor medido.

10. El aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el volumen es un cubo que tiene ocho vértices ( $V_1, V_2, \dots, V_8$ ).

11. El aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el primer y segundo radiadores magnéticos ( $R_1, R_2$ ) operan como dipolos simples que tienen polos que obedecen a una ley de la inversa del cuadrado.

65



- 5 **12.** El aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el procesador está configurado para asignar los primeros momentos dipolares respectivos al primer radiador de campo magnético ( $R_1$ ) y asignar los segundos momentos dipolares respectivos al segundo radiador de campo magnético ( $R_2$ ) en respuesta a desplazamientos de la multiplicidad de vértices desde un origen de un marco de referencia definido por la primera posición y la segunda posición.
- 10 **13.** El aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el valor del campo magnético para un punto dentro del volumen se calcula en términos de una primera media de los primeros momentos dipolares asignados a la multiplicidad de vértices ( $V_1, V_2, \dots V_8$ ) y de una segunda media de los segundos momentos dipolares asignados a la multiplicidad de vértices ( $V_1, V_2, \dots V_8$ ).
- 14.** El aparato de acuerdo con la reivindicación 12, en el que la primera y la segunda medias son medias ponderadas lineales respectivas calculadas en términos de una localización del punto dentro del volumen.
- 15 **15.** El método de acuerdo con la reivindicación 1 o el aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el primer radiador de campo magnético y el segundo radiador de campo magnético transmiten respectivamente un primer campo magnético alterno a una primera frecuencia y un segundo campo magnético alterno a una segunda frecuencia diferente del primera frecuencia.

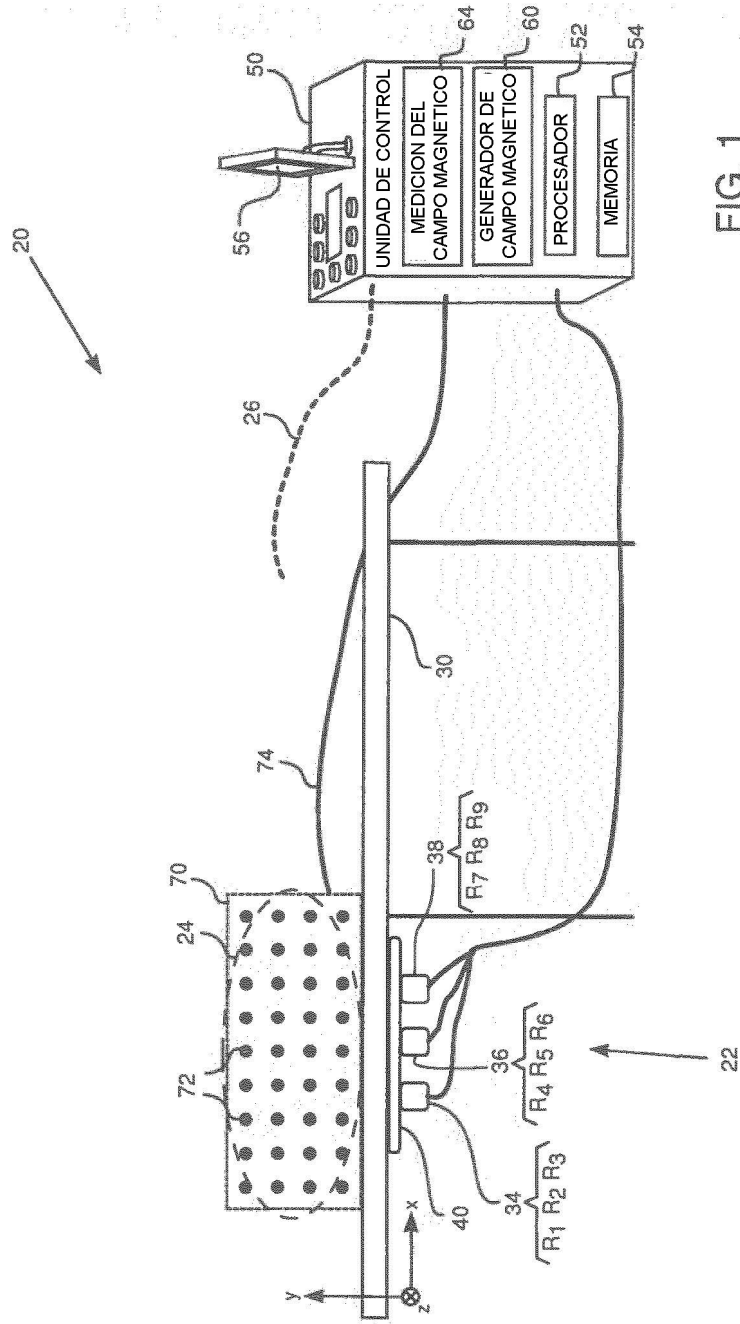


FIG. 1

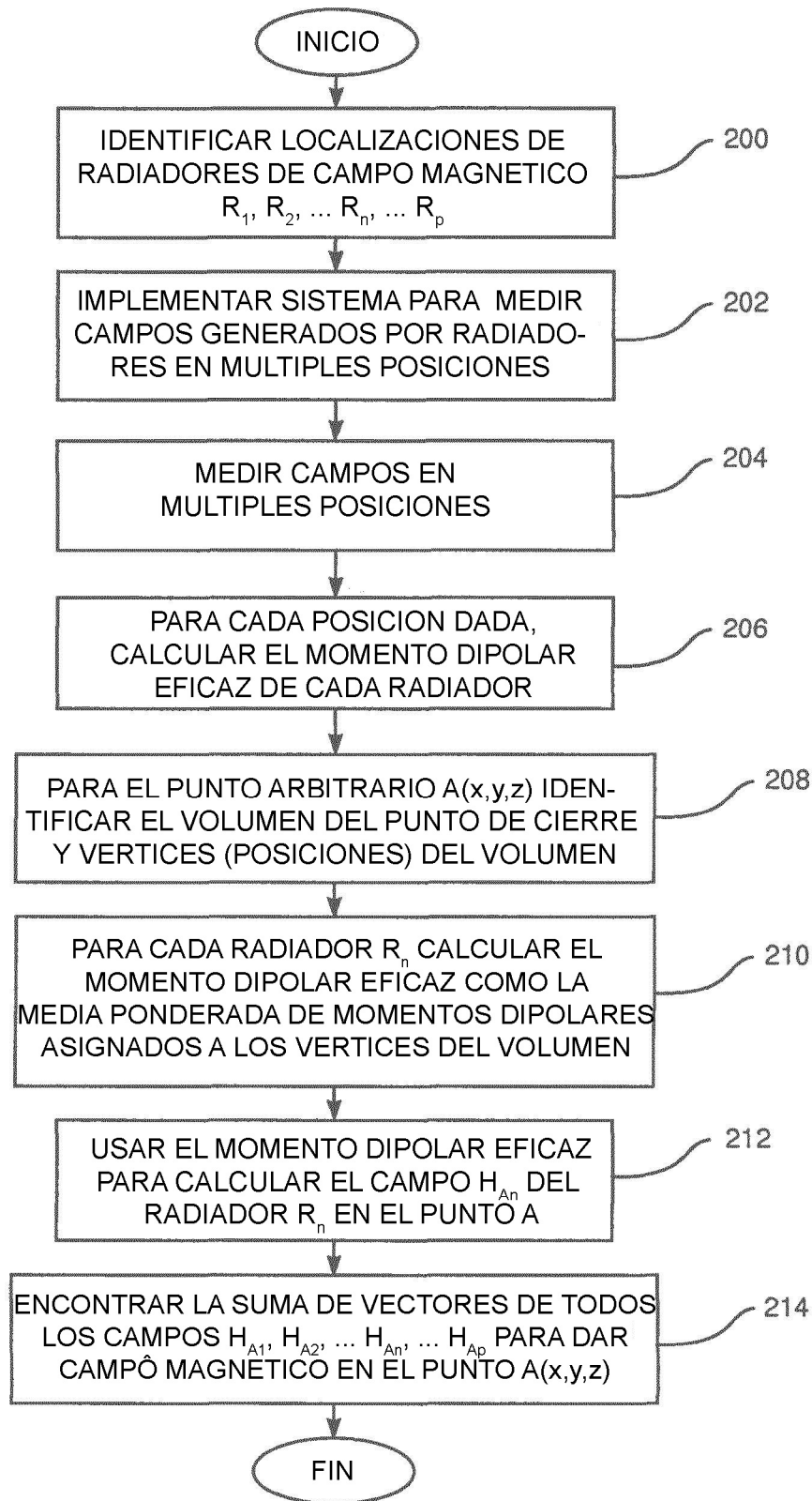


FIG. 2

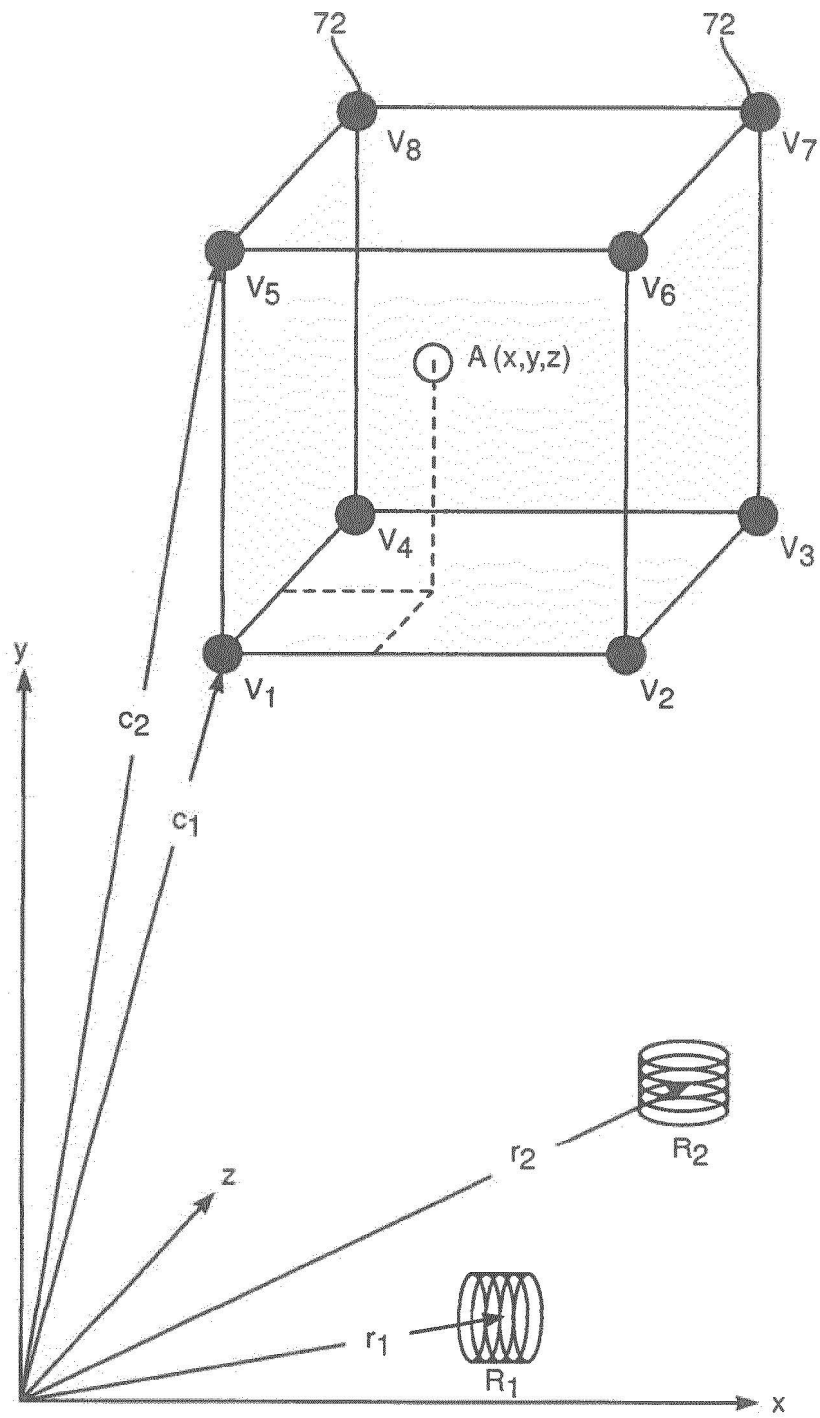


FIG. 3