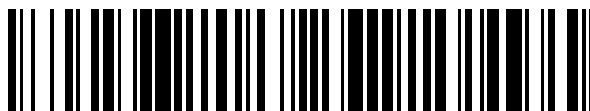


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 875 308**

51 Int. Cl.:

B64G 1/28

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.08.2015** **PCT/IB2015/056143**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.02.2017** **WO17025778**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.08.2015** **E 15770971 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.03.2021** **EP 3334654**

54 Título: **Sistema de control de actitud de los satélites**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
10.11.2021

73 Titular/es:

**UAB "PAZANGUS POZICIONAVIMO
SPRENDIMAI" (100.0%)
Baltijos g. 53-2
48299 Kaunas, LT**

72 Inventor/es:

**GRIGALIUNAS, VALDAS;
VILKAUSKAS, ANDRIUS;
KARPAVICIUS, ALGIS y
GUDAUSKIS, MARIUS**

74 Agente/Representante:

**INGENIAS CREACIONES, SIGNOS E
INVENCIONES, SLP**

ES 2 875 308 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de control de actitud de los satélites

5 CAMPO DE LA INVENCION

Esta invención se refiere a sistemas compactos de control de actitud de satélites. Más específicamente, se refiere a un aparato giroscópico que tiene una masa giratoria, preferentemente en forma de esfera, que tiene múltiples grados de rotación.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Con la reducción del tamaño de varios dispositivos de medición electrónicos, cámaras de vídeo y varios equipos de señales y comunicaciones, los satélites artificiales también se están haciendo más pequeños. Como resultado, el coste del satélite en sí y su lanzamiento mediante cohetes se reduce significativamente. Se desean soluciones compactas y más ligeras en todos los nodos de un satélite, incluido el sistema de control de actitud. Uno de tales nodos es un sistema de posicionamiento de esfera de reacción de un satélite, que se utiliza para colocar un satélite en el espacio y, por ejemplo, apuntar sus dispositivos de comunicación u observación a un lugar deseado en la tierra o dirección deseada en el espacio.

20 Históricamente, los sistemas de control de actitud de los satélites se construían utilizando un concepto de volante cilíndrico o rueda de reacción, mientras que hasta 3 volantes giran en diferentes modos de rotación, con ejes de rotación ubicados preferentemente en las direcciones X, Y y Z. El soporte de estos volantes está unido rígidamente al marco del satélite. Al elegir la proporción correcta de inercia de todos los volantes, la orientación del satélite se puede controlar en un entorno ingravido.

25 Se ha realizado un esfuerzo significativo para reducir el tamaño y el peso de dichos volantes. Una de las direcciones es equipar un solo cuerpo giratorio, como una esfera de rotación múltiple, y accionarlo mediante el uso de campos electromagnéticos. Dicha esfera comprende imanes permanentes y actúa como un rotor, múltiples electroimanes están ubicados en un marco de estator, rodeando la esfera.

La patente japonesa JP6117741A describe un aparato que permite controlar las posiciones de múltiples ejes para reducir el tamaño, el peso y el número de piezas de una unidad de dispositivo de volante, soportando un rotor que consta de una bola sin contacto y permitiendo que el rotor gire de manera controlable alrededor de cualquier eje. En esta solución, los electroimanes se colocan fuera de un rotor esférico hueco 10 hasta extenderse a través del centro del rotor y rodear el rotor en los ejes X, Y y Z ortogonales entre sí, de modo que se constituye un cojinete magnético para soportar el rotor 10 con atracción magnética en la forma sin contacto. Además, en el exterior de los electroimanes opuestos entre sí en los respectivos ejes se proporcionan estatores concéntricamente con los electroimanes de modo que el rotor pueda girar alrededor de cualquier eje mediante una fuerza magnética debida a los estatores. Por tanto, los dispositivos de volante montados respectivamente en tres ejes de un satélite artificial anterior pueden reemplazarse por una unidad del dispositivo de volante.

La solicitud de patente PCT n.º WO2014017817 describe un sistema de conducción de bolas rígidas tridimensional que comprende: un marco de soporte que tiene una forma poliédrica; una bola rígida ubicada en el centro interior del marco de soporte; una pluralidad de cojinetes de bolas instalados en el borde interior del marco de soporte y en contacto con la superficie de la bola rígida; una pluralidad de electroimanes dispuestos alrededor de los cojinetes de bolas para formar un campo magnético para hacer girar la bola rígida; y una unidad de control para controlar los electroimanes con el fin de controlar la dirección de rotación y la velocidad de rotación de la bola rígida. De acuerdo con la presente invención, la bola rígida instalada dentro de un aparato de control de actitud de un satélite está soportada por una pluralidad de cojinetes de bolas, eliminando así la necesidad de instalar un dispositivo de levitación magnética para levantar la bola rígida en el aire. Además, la posición de la bola rígida se mantiene mediante vibraciones o similares, lo cual permite el control preciso de la actitud del satélite.

55 La patente lituana n.º LT6089 describe un dispositivo de guía por satélite. La invención se basa en el momento de inercia de la masa rotatoria del efecto de cambio para la guía satelital, en particular el uso de la masa corporal de la orientación esférica del satélite en los tres ejes espaciales, y actuadores piezoeléctricos que permiten la rotación de la esfera combinando cualquiera de los tres ejes. Dispositivo de orientación satelital, que consiste en una cierta masa de la esfera y movimiento de rotación generado por un actuador piezoeléctrico, que consiste en al menos 2 hemisferios piezocerámicos que rodean la esfera y el elemento elástico entre uno de los hemisferios piezocerámicos y la carcasa, o en su lugar el dispositivo de semiesfera piezocerámica puede tener un cilindro piezocerámico al que se presiona una esfera con un imán permanente adherido al cuerpo contra los elementos intermedios que se adhieren al cilindro piezocerámico. El dispositivo presentado por su diseño simple se puede utilizar en cualquier satélite espacial.

65 En la reciente patente, el hemisferio piezocerámico tiene electrodos segmentados, lo cual permite inducir

vibraciones del actuador piezoeléctrico en áreas discretas, creando así un movimiento rotacional de la esfera. Sin embargo, el principal inconveniente de dicha solución es que el actuador piezocerámico segmentado presenta una propiedad negativa llamada diafonía vibratoria, que hace que las vibraciones creadas en un segmento del actuador piezocerámico sean inducidas hacia otro segmento y su punto de tangencia con la esfera. Además, tener una semiesfera o un cilindro, que cubre gran parte de la superficie del cuerpo esférico inercial, dificulta la instalación de un sistema sensor para la retroalimentación activa de la rotación inducida.

En otras áreas de la tecnología, se describen varias soluciones relacionadas con la manipulación de cuerpos esféricos para cambiar su orientación. Algunas soluciones técnicas innovadoras describen actuadores piezoeléctricos capaces de girar un cuerpo esférico en prácticamente cualquier dirección con una aplicación en el posicionamiento de cámaras de vídeo.

La patente europea EP1111692 describe un actuador que tiene múltiples mecanismos de accionamiento piezoeléctricos y una esfera con una cámara de vídeo que gira alrededor de dos o más ejes de rotación. Una estructura transmite imágenes y sonido desde el actuador. Los mecanismos de accionamiento piezoeléctricos pueden girar la esfera de forma aleatoria y pueden utilizar la fricción a través de oscilaciones en una dirección tangencial.

Las soluciones de la técnica anterior que tienen actuadores electromagnéticos todavía son voluminosas y los campos electromagnéticos fuertes pueden causar interferencias con equipos electrónicos sensibles en un satélite, así como interferencias con campos magnéticos de planetas. El coste de los componentes y la complejidad general son mayores, y las soluciones basadas en electroimán requieren señales de control sofisticadas.

SUMARIO

Esta invención tiene como objetivo crear un aparato de posicionamiento de rotación múltiple o un sistema de control de actitud para pequeños satélites artificiales.

La invención está definida por las reivindicaciones independientes 1 y 2, y los modos de realización de la invención están definidos por las reivindicaciones dependientes.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Los dibujos se proporcionan solo como referencia y de ninguna manera deben limitar el alcance de la invención. Ninguno de los nodos representados en los dibujos se considerará limitativo, sino simplemente como un ejemplo de muchos modos de realización posibles.

Figura 1. Un dibujo a modo de ejemplo del sistema de suspensión de forma libre para el sistema de control de actitud de los satélites.

Figura 2. Un dibujo esquemático de un sistema de rotación múltiple con 1 soporte y 3 actuadores (vista lateral).

Figura 3. Un dibujo esquemático de un sistema de rotación múltiple que tiene 1 soporte y 3 actuadores (vista superior).

Figura 4. Un dibujo esquemático de un sistema de rotación múltiple que tiene 6 actuadores.

Figura 5. Un dibujo esquemático de un sistema de rotación múltiple con 3 soportes y 3 actuadores.

Figura 6. Un dibujo esquemático de un sistema de rotación múltiple con 3 soportes y 1 actuador.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS MODOS DE REALIZACIÓN PREFERENTES

Esta divulgación se refiere a los sistemas de control de actitud de los satélites. El propósito del sistema es generar un momento de rotación controlable para la orientación del satélite en el espacio. El sistema comprende uno o más actuadores de accionamiento por fricción (2), un cuerpo inercial esférico (1), medios para mantener el cuerpo inercial en su lugar y permitir la rotación 3D, tales como soportes (3) montados sobre un subsistema de suspensión (4). El sistema comprende además componentes electrónicos para controlar los actuadores de acuerdo con las señales de uno o más sensores de retroalimentación rotacionales.

En el presente documento, por "actuador basado en fricción" o "actuador de transmisión por fricción" se entiende cualquier actuador que transfiere el movimiento a otro cuerpo a través de la fricción, directamente o a través de un elemento intermedio, mientras que un elemento activo del actuador es macizo y está en contacto con el cuerpo que se va a activar, directamente o a través de elementos intermedios. En el caso de esta invención, el cuerpo a accionar es preferentemente un cuerpo inercial esférico (1).

Los soportes (3) del cuerpo inercial son semiactivos o pasivos. En el caso de soportes pasivos, no comprende ningún elemento activo y su finalidad es mantener el cuerpo inercial (1) en su lugar. El soporte semiactivo comprende un elemento que puede reducir la fricción entre el elemento de soporte y el cuerpo inercial, por ejemplo, un elemento vibrante macizo, que tiene vibraciones de alta frecuencia de pequeña magnitud, mientras que las vibraciones son tangenciales o normales a la superficie del cuerpo inercial (1).

El al menos un actuador (2) es en general un elemento activo. El objetivo principal del actuador es transferir movimiento al cuerpo inercial y así crear un momento de rotación, pero también sirve como soporte, tanto en su estado activo como en estado pasivo.

En un modo de realización, el sistema de control de actitud comprende un cuerpo esférico inercial, que está dispuesto para girar en el espacio en un modo rotacional deseado, uno o más sensores de retroalimentación rotacional, un conjunto de soportes discretos y/o actuadores, mientras que uno o más actuadores se utiliza para crear un momento de rotación en el cuerpo inercial esférico a través de la fricción y se utiliza uno o más soportes para mantener el cuerpo inercial en su lugar. Se utiliza un conjunto de 4 o más actuadores y soportes. Los soportes pueden ser pasivos o semiactivos para reducir la fricción. El propósito del sistema es generar un momento de rotación controlable para la orientación del satélite en el espacio. Dichos actuadores se controlan preferentemente en pulsos o en serie de pulsos para controlar con precisión la actitud del satélite. Una de las formas es también utilizar la modulación de ancho de pulso (PWM) de una señal de control eléctrico.

En uno de los modos de realización más sencillos, existe un solo elemento de soporte (3), como se muestra en la Figura 2.

En otro modo de realización más, el sistema comprende solo tres puntos que sostienen el cuerpo esférico inercial y la esfera se retiene en su posición mediante el uso de un campo magnético. En este modo de realización, los tres puntos de apoyo son preferentemente actuadores dispuestos en tres ejes de un sistema de coordenadas cartesiano y el cuerpo esférico inercial está hecho de un material ferromagnético. En este modo de realización no se utilizan soportes (3).

El sistema de control de actitud del satélite puede tener varios modos de funcionamiento. En un modo de realización, el cuerpo inercial (1) está en rotación constante, lo cual tiene el efecto de eliminar el momento de rotación causado por el viento solar, el momento de rotación que puede originarse durante el lanzamiento y despliegue del satélite en la órbita, así como para otros impactos ambientales, que provocan cambios indeseables en la posición y orientación del satélite. En otro modo de realización, el cambio de la cantidad de movimiento de rotación del cuerpo inercial se usa para crear la cantidad de movimiento de rotación del satélite de un ángulo pequeño y lograr gradualmente la posición deseada o el ajuste de la actitud de los satélites.

En otro modo de realización más, el mismo elemento de soporte puede actuar como soporte pasivo o semiactivo. En este modo de realización, se puede utilizar un transductor piezoeléctrico en la interfaz del soporte (3) y el cuerpo inercial esférico (1). Por ejemplo, en situaciones en las que se necesita crear un pequeño momento de rotación, el soporte (3) es pasivo y en caso de que se deba generar un momento mayor, se generan vibraciones de pequeña amplitud utilizando dicho transductor piezoeléctrico; esto reduce la fricción y aumenta el momento de rotación máximo, que se puede crear con la ayuda de actuadores (2).

En otro modo de realización más, los soportes (3) se basan en pistones de bola.

En otro modo de realización más, los soportes (3) o al menos las puntas de los soportes, que están en contacto con el cuerpo de inercia (1) están hechos de polímeros de baja fricción, como PTFE u otros.

Los actuadores (2) comprenden preferentemente elementos de accionamiento, que pueden ser de los siguientes tipos: piezoeléctrico (ultrasónico), magnetostrictivo, motor CC/paso a paso u otro capaz de crear fuerza de fricción y transferir movimiento al cuerpo esférico inercial en dirección tangencial, actuando directamente en contacto con el cuerpo esférico inercial o mediante un elemento de contacto intermedio.

En uno de los modos de realización, el elemento de contacto intermedio es una rueda de fricción. En este caso, el elemento de accionamiento preferido es un motor eléctrico, como un motor de CC o paso a paso.

En otro modo de realización más, el elemento de contacto intermedio entre el elemento de accionamiento del actuador (2) y el cuerpo esférico (1) es un recubrimiento funcional o un sustrato que tiene un recubrimiento especialmente diseñado, mientras que los parámetros del recubrimiento se seleccionan para asegurar la mejor reacción (elasticidad, planeidad, adherencia superficial, etc.) entre el actuador y el cuerpo esférico (1).

Algunos tipos de elementos de accionamiento activos pueden crear movimiento en más de un grado de libertad (DOF). Por ejemplo, componentes piezocerámicos macizos o multicapa divididos en varios segmentos y/o diferentes segmentos polarizados o varios actuadores apilados entre sí, pueden crear así fuerzas tangenciales

de diferentes direcciones. Por tanto, se pueden utilizar menos actuadores (los que tocan el cuerpo inercial). Por ejemplo, dos actuadores pueden crear un movimiento de rotación del cuerpo inercial esférico (1) en todas las direcciones.

5 En otro modo de realización más, se puede usar un solo actuador para crear múltiples modos de rotación del cuerpo esférico inercial (1), excepto una rotación, donde un punto de contacto entre el actuador (2) y el cuerpo inercial (1) está ubicado en el eje de rotación del cuerpo inercial (1).

10 En el modo de realización más preferente, el sistema de posicionamiento está retenido en un subsistema de suspensión dedicado, que comprende un marco, mientras que los soportes (3) y los actuadores (2) están unidos a este marco con un extremo y tocan el cuerpo inercial esférico (1) con el otro extremo. El marco preferentemente tiene forma de cubo o cuboide, pero también puede tener otras formas, tales como esférica, piramidal, cilíndrica, cónica u otra forma libre. En la Fig. 1 se muestra un ejemplo de marco de forma libre (4) del subsistema de suspensión. En otro modo de realización más, el marco de soporte se puede conectar o
15 diseñar como, o ser parte del cuerpo satélite, mientras que los actuadores (2) y los soportes (3) son forzados hacia el cuerpo esférico inercial (1) con la ayuda de un elemento de resorte, o algunos de ellos se apoyan contra el marco de soporte y el cuerpo de inercia (1) de forma directa y rígida y algunos de ellos mediante elementos de resorte/amortiguación.

20 En otro modo de realización más, los actuadores (2) se controlan de forma continua, induciendo y cambiando gradualmente la magnitud o frecuencia de las vibraciones (en el caso de vibraciones piezoeléctricas) o la frecuencia de rotación (en el caso de una rueda de fricción).

25 En otro modo de realización más, los sensores de retroalimentación detectan la posición de un cuerpo de referencia en el espacio, como el sol u otros objetos astronómicos.

En otro modo de realización más, los sensores de retroalimentación detectan la actitud real del satélite. Dichos sensores podrían ser, por ejemplo, acelerómetros. Los acelerómetros basados en láser también son una opción sensible y válida entre otros tipos de acelerómetros.

30 Para mantener el cuerpo inercial en su sitio se necesitan al menos 3 elementos de soporte, como soportes (3) o actuadores (2) en caso de que el cuerpo esférico inercial sea atraído por un imán. O se necesitan al menos 4 elementos de soporte en caso de que no se utilice la atracción magnética. La figura 2 muestra un soporte pasivo o semiactivo (3) y tres actuadores (2), que soportan el cuerpo inercial (1). Algunas de las otras
35 configuraciones se muestran en otras figuras.

El cuerpo esférico inercial puede estar hecho de muchos materiales diferentes, siendo los más comunes acero, aluminio, latón, cerámica u otros metales, aleaciones, vidrios, plásticos o materiales compuestos. En algunos casos, donde se necesita una mínima expansión térmica, se pueden utilizar aleaciones como invar o super
40 invar, así como cerámicas de vidrio zerodur o similares con coeficiente de expansión térmica (CTE) cercano a 0 y compatibilidad para trabajar a muy bajas temperaturas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de control de actitud de satélite, que comprende un cuerpo esférico inercial (1) dispuesto para girar en el espacio en un modo de rotación deseado creando un momento de rotación en el cuerpo esférico inercial (1) a través de la fricción, y uno o más sensores de retroalimentación, con el sistema además que comprende un conjunto de cuatro o más elementos de soporte, con cada elemento de soporte que proporciona un único punto de contacto sustancial a dicho cuerpo esférico inercial (1) para mantenerlo en el espacio 3D, en el que dichos elementos de soporte son soporte(s) (3) o actuador(es) (2), en el que dicho conjunto comprende al menos uno de dichos actuadores, en el que

 - dichos actuadores están configurados para crear el momento de rotación del cuerpo inercial esférico (1) a través de la fricción, y
 - dicho soporte o soportes (3) están configurados para mantener el cuerpo esférico inercial (1) en su lugar y permitir una rotación 3D.
2. Un sistema de control de actitud de satélite, que comprende un cuerpo esférico inercial (1) dispuesto para girar en el espacio en un modo de rotación deseado creando un momento de rotación en el cuerpo esférico inercial (1) a través de la fricción, y uno o más sensores de retroalimentación, con el sistema además que comprende un conjunto de 3 elementos de soporte, con cada elemento de soporte que proporciona un único punto de contacto sustancial a dicho cuerpo esférico inercial (1) para mantenerlo en el espacio 3D, en el que dichos elementos de soporte son actuadores (2) en combinación con un campo magnético configurado para retener el cuerpo esférico inercial (1) en su posición, en el que dichos actuadores están configurados para crear el momento de rotación al cuerpo esférico inercial mediante fricción, y en el que el cuerpo esférico inercial (1) está hecho de un material ferromagnético.
3. El sistema de control de actitud de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** el o los actuadores (2) comprenden un elemento activo, que es un material piezoeléctrico o un material magnetoestrictivo, o un motor de corriente continua o un motor paso a paso.
4. El sistema de control de actitud de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el (los) soporte(s) (3) o al menos las puntas del (de los) soporte(s) (3) comprenden un material polimérico de baja fricción en el punto de tangencia con dicho cuerpo esférico inercial (1).
5. El sistema de control de actitud de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el (los) soporte(s) (3) son semiactivos en el que un elemento activo reduce la fricción entre el (los) soporte(s) (3) y el cuerpo inercial esférico (1) mediante vibraciones de alta frecuencia de pequeña magnitud.
6. El sistema de control de actitud de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el (los) soporte(s) (3) son pistones de bola.
7. El sistema de control de actitud de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 3 cuando dependa de la reivindicación 1, **caracterizado por que** el conjunto es un conjunto de 3 actuadores (2) y al menos un soporte (3) para retener el cuerpo esférico inercial (1) en su posición.
8. El sistema de control de actitud de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 3 cuando dependa de la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicho conjunto comprende tres actuadores (2) y un soporte (3), o dos actuadores (2) y dos soportes (3), o tres actuadores (2) y tres soportes (3), o tres actuadores (2) y dos soportes (3), o cuatro actuadores (2), o seis actuadores (2).
9. El sistema de control de actitud de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** dichos uno o más sensores de retroalimentación están dispuestos para detectar la rotación del cuerpo esférico inercial (1).
10. El sistema de control de actitud de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** dichos uno o más sensores de retroalimentación están configurados para detectar una actitud del satélite con respecto a objetos astronómicos.
11. El sistema de control de actitud de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** dichos uno o más sensores de retroalimentación comprenden un acelerómetro.

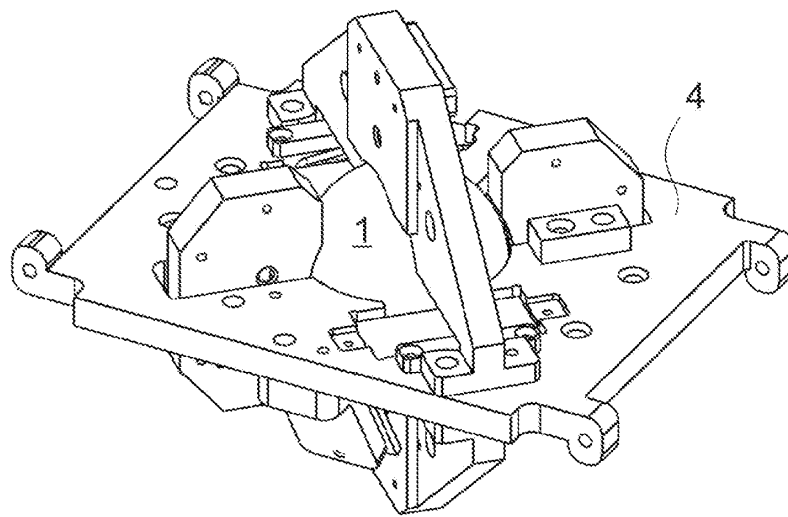


Fig. 1

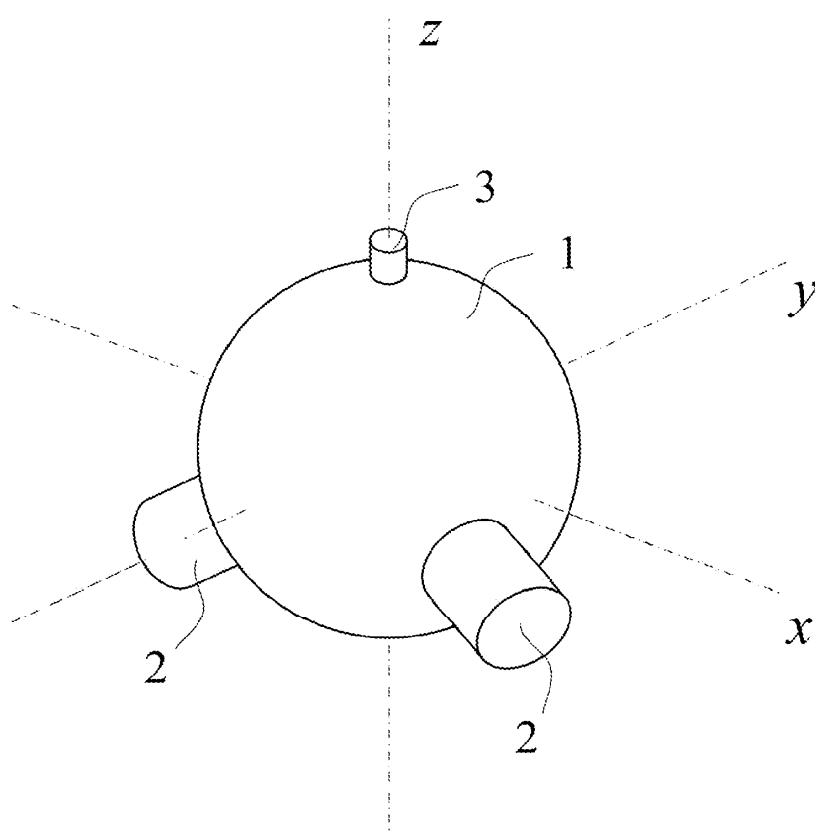


Fig. 2

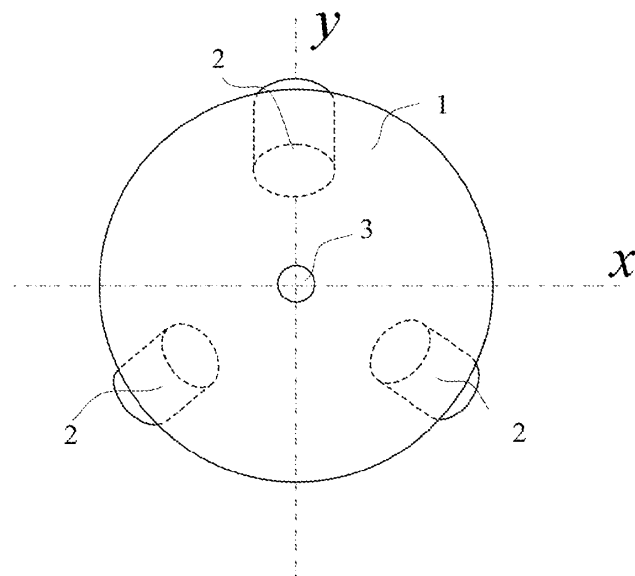


Fig. 3

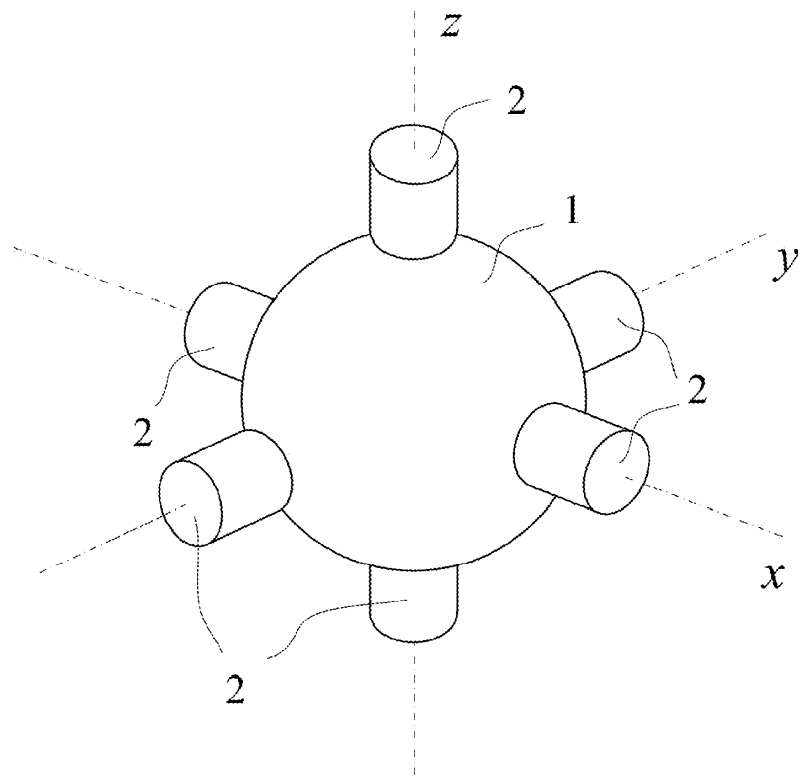


Fig. 4

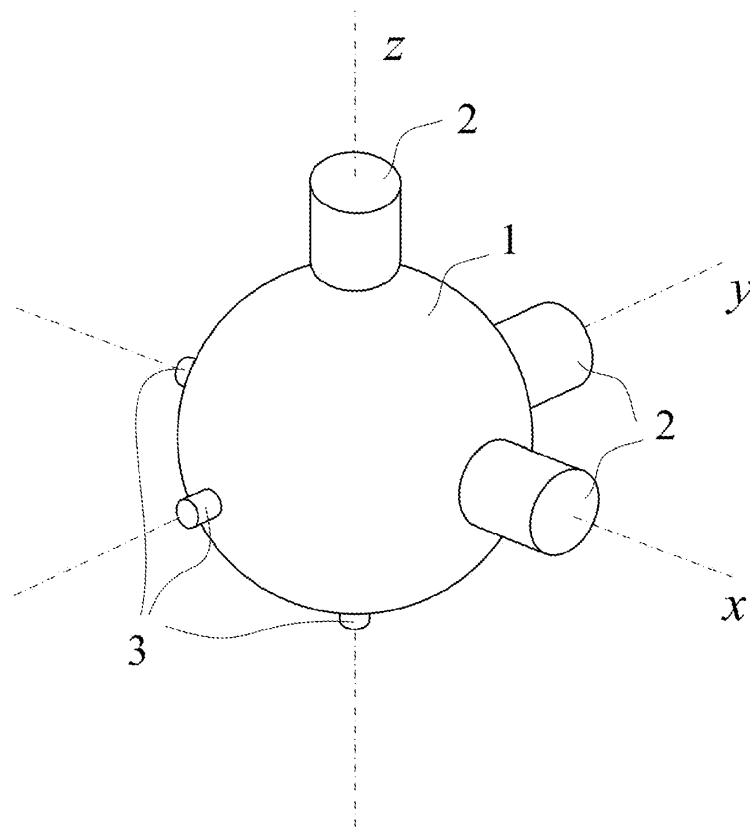


Fig. 5

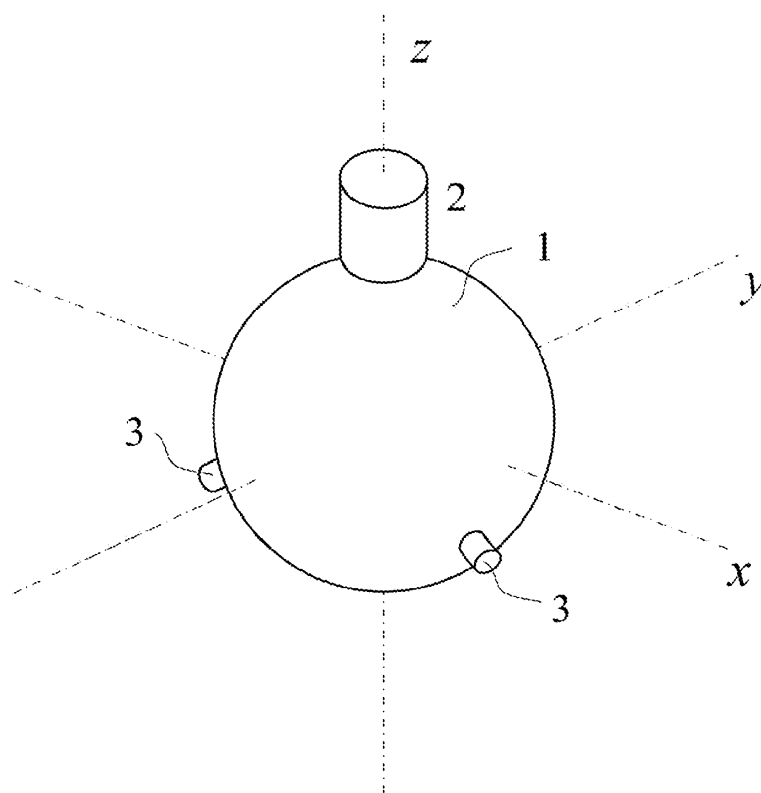


Fig. 6