

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 323**

51 Int. Cl.:

**A61B 34/30** (2006.01)

**B25J 9/16** (2006.01)

**B25J 18/00** (2006.01)

**A61B 34/37** (2006.01)

**A61B 34/00** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.02.2016** **PCT/EP2016/052534**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.08.2016** **WO16124752**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.02.2016** **E 16705060 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2024** **EP 3253323**

54 Título: **Dispositivo de ayuda a la manipulación de un instrumento**

30 Prioridad:

**05.02.2015 FR 1550921**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**26.11.2024**

73 Titular/es:

**SORBONNE UNIVERSITÉ (33.3%)**  
**21, rue de l'École de Médecine**  
**75006 Paris, FR;**  
**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE(CNRS) (33.3%) y**  
**ENDOCNTROL (33.3%)**

72 Inventor/es:

**MOREL, GUILLAUME;**  
**DONG, LIN;**  
**RICHER, FLORIAN;**  
**PERRIN, NICOLAS;**  
**VIDAL, CLÉMENT y**  
**BARDOU, BÉRENGÈRE**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 989 323 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Dispositivo de ayuda a la manipulación de un instrumento

**Campo técnico general**

5 La invención se refiere a la robótica de co-manipulación, es decir, a la manipulación simultánea de un instrumento por un robot y por un operador con el fin de ayudar al operador que manipula el instrumento. Aquí, la palabra "instrumento" se refiere a un objeto en general, que puede ser una herramienta, una pieza mecánica, un dispositivo de visualización como una cámara, etc. El usuario realiza una tarea que consiste en manipular este objeto y el papel del robot de co-manipulación es ayudarlo.

10 La invención se refiere más específicamente a procedimientos y dispositivos para ayudar a la manipulación de un instrumento que pasa a través de un orificio, cuyo extremo distal debe ser controlado. Estos dispositivos o procedimientos se utilizan ventajosamente en combinación con la supervisión por vídeo desde un endoscopio, de modo que el operador pueda observar sus manipulaciones en directo.

La invención tiene una aplicación particular en la cirugía laparoscópica, en la que se insertan instrumentos largos y finos (*a través de cánulas*) en el cuerpo de un paciente para poder realizar una intervención quirúrgica.

15 Este tipo de operación requiere generalmente varios instrumentos y puede durar varias horas.

**Estado de la técnica**

En este texto, se darán ejemplos para el ámbito quirúrgico. No obstante, pueden aplicarse sin dificultad a cualquier tipo de manipulación a través de un orificio que requiera un equipo similar al utilizado en la laparoscopia (mecánica de precisión, etc.).

20 En ausencia de un dispositivo que ayude a manipular un instrumento, como un robot que transporte un instrumento, todos los instrumentos son manipulados por el cirujano y/o un ayudante. La cirugía laparoscópica suele requerir movimientos precisos y técnicos, así como una postura corporal difícil y mantenida por parte del operador, lo que puede provocar trastornos musculoesqueléticos.

25 Este tipo de cirugía ha evolucionado hacia la robotización manipulada por control remoto, en la que el robot que transporta los instrumentos es manipulado a distancia por un cirujano. Además del elevado coste que supone instalar un robot de este tipo, existen importantes limitaciones. Por ejemplo, el hecho de que el cirujano manipulador no esté "esterilizado" (trabaja en una consola no estéril), o que las operaciones periquirúrgicas sean complicadas (el cirujano tiene que indicar exactamente qué instrumento quiere y dónde, ya que no está directamente sobre el cuerpo del paciente), o el hecho de que un robot de este tipo sólo funcione para operaciones muy localizadas (próstata, útero, etc.), pero no permita operar eficazmente cuando hay que llegar a zonas del cuerpo separadas entre sí, por ejemplo cuando hay que cambiar la cánula (dispositivo para introducir el instrumento en el paciente)

Otra evolución, que es la que interesa a la invención, se ha orientado hacia la co-manipulación de una herramienta por medio de un robot y un operador. En este caso, además de transportar los instrumentos, el robot filtra cualquier imprecisión en los movimientos del operador (vibraciones, etc.).

35 Los procedimientos de filtrado utilizan, por ejemplo, la viscosidad, estableciendo una relación entre una velocidad de desplazamiento y una fuerza, o la rigidez, estableciendo una relación entre una desviación de posición y una fuerza, o asignando una inercia virtual al instrumento. También se pueden buscar combinaciones de estos efectos. Todos estos efectos y sus posibles combinaciones forman parte de las impedancias mecánicas que puede conseguir el robot utilizando recursos de programación.

40 Como se muestra en la **figura 1**, los dispositivos de ayuda 1 para la co-manipulación de un instrumento tienen tres grados de libertad activos, lo que puede conseguirse, por ejemplo, mediante tres actuadores sucesivos A1, A2, A3, cada uno de los cuales controla un eje, permitiendo que un punto dado del último extremo del robot controlado por estos actuadores se mueva en las tres dimensiones del espacio. Es posible, sin cambiar el principio de la invención, organizar los tres actuadores en paralelo en lugar de en serie, de acuerdo con los principios de la robótica paralela conocidos por los expertos en la materia. También es posible utilizar más de tres actuadores para mover un punto dado en el último extremo del robot, constituyendo así una cadena cinemática redundante, según los principios de los robots redundantes conocidos por los expertos en la materia. Además, estos dispositivos tienen tres grados de libertad pasivos, gracias a una rótula pasiva en dicho extremo. De este modo, no se transmite ningún momento y el instrumento 20 puede ser manejado libremente por un operador. El instrumento 20 también se inserta de modo que el eje del instrumento 20 pase por el centro de la rótula pasiva. Se define un punto de fijación P que pasa por el centro de la rótula y atraviesa el instrumento 20.

El dispositivo está controlado por una unidad de procesamiento U. La arquitectura general consiste en recuperar información (posición, velocidad en general) del instrumento 20, procesarla y determinar una fuerza que debe aplicarse al punto de fijación.

Los sensores C1, C2, C3 están dispuestos en cada actuador (es decir, tres sensores), y dos sensores C4, C5 están dispuestos en la rótula para medir rotaciones distintas de la que se produce alrededor del eje del instrumento. En otras palabras, C4 y C5 se utilizan para medir la orientación del eje del instrumento. Para configurar el dispositivo, no es necesario saber cómo gira el instrumento sobre su propio eje.

- 5 Los puntos de interés, es decir, el centro de la rótula, la posición de la mano del operador y la punta del instrumento ("tip" o extremo distal del instrumento), están situados en el eje del instrumento. La **figura 3** ilustra la posición de estos puntos.

Sin embargo, los dispositivos de co-manipulación presentan actualmente limitaciones que dificultan su uso o impiden un mejor aprovechamiento de las posibilidades que podrían ofrecer.

- 10 Algunas de estas limitaciones son las siguientes.

Como se ha mencionado anteriormente, las impedancias se implementan para mejorar las sensaciones del operador durante la manipulación y también para perfeccionar los gestos.

- 15 Una solución conocida consiste en crear una impedancia en el centro de la rótula, lo que se ve facilitado por el hecho de que la posición del centro de la rótula se conoce con precisión en todo momento gracias a los tres sensores C1, C2 y C3 presentes en los tres actuadores.

Sin embargo, esta solución no es óptima desde el punto de vista de las sensaciones del operador, y puede ser preferible crear una impedancia programable en la empuñadura del instrumento (en la mano del operador) o en el extremo distal del instrumento, que es la parte que el operador desea controlar.

- 20 Sin embargo, para programar una impedancia en los otros puntos, es necesario, según el estado de la técnica, utilizar los sensores C4 y C5 de la rótula además de los sensores C1, C2 y C3 de las articulaciones.

Por razones técnicas, los sensores del actuador ofrecen una señal precisa con poco ruido, mientras que los sensores de la rótula (típicamente potenciómetros) pueden ser de menor calidad y ofrecer una señal poco precisa con mucho ruido.

- 25 Por consiguiente, el conocimiento de los datos relativos a otros puntos del eje del instrumento (el extremo distal del instrumento o un punto del mango proximal, por ejemplo), como la posición o la velocidad, es relativamente escaso, lo que impide obtener la impedancia deseada en el lugar deseado.

Otro problema que se plantea en la asistencia robótica para la cirugía laparoscópica (o más generalmente para la manipulación a través de un orificio) reside en la parametrización del robot y, en particular, en la parametrización del punto de incisión, que es el punto de entrada del instrumento en el cuerpo del paciente.

- 30 Algunos robots existentes para asistir a la cirugía laparoscópica operan alrededor de un punto fijo. El robot debe colocarse con precisión antes de la operación para que este punto fijo se corresponda con el punto de incisión.

Es necesario un procedimiento de reajuste, realizado antes del inicio de la operación.

- 35 Tales procedimientos son propensos a errores y ralentizan el desarrollo de la intervención. Por lo tanto, es deseable ofrecer dispositivos que no requieran un posicionamiento preciso del robot antes de la intervención, ni su reposicionamiento.

- 40 Otro problema reside en la aplicación de las impedancias y la experiencia del operador con ellas. En el caso de la viscosidad, que establece una relación entre una fuerza y una velocidad (para dar al cirujano la impresión de moverse en un medio viscoso), es prudente que el operador, para movimientos ligeros y precisos, trabaje con una viscosidad alta para filtrar cualquier imprecisión a pesar de las bajas velocidades; en cambio, cuando tenga que desplazar el instrumento a otra zona del paciente, deberá trabajar con una viscosidad baja, ya que de lo contrario tendrá que ejercer mucha fuerza simplemente para mover la herramienta, lo que puede provocar una fatiga innecesaria y una pérdida de tiempo, ya que el robot ralentiza el movimiento.

Para conseguirlo, ya se ha propuesto generar una viscosidad variable entre dos estados (baja cuando la velocidad de la mano es alta, alta cuando la velocidad de la mano es baja), o continua.

- 45 Tales configuraciones pueden generar inestabilidades, como se muestra en una prueba experimental ilustrada en la **figura 4**: el operador desea mover el instrumento a una velocidad media, que corresponde a una viscosidad intermedia entre el valor máximo (para velocidades lentas) y el valor mínimo (para velocidades rápidas). Para alcanzar esta velocidad media, partiendo de la velocidad cero, el operador se verá obligado a acelerar el movimiento. Al aumentar la velocidad, la disminución de la viscosidad provocará una reducción de la resistencia del robot, lo que dará lugar a una aceleración repentina del movimiento; como resultado, la velocidad se vuelve rápidamente superior a la velocidad media a la que el operador desea mover el instrumento. El operador reduce entonces su fuerza para disminuir la velocidad, lo que provocará un aumento de la viscosidad y una desaceleración brusca del movimiento: se crea así una
- 50

oscilación en torno a la velocidad media deseada por el usuario, lo que impide utilizar correctamente el sistema de co-manipulación.

Para dotar al operador de un robot de co-manipulación que le ayude de forma más dirigida, es posible definir guías. Para ello, primero hay que definir algunas restricciones geométricas (un punto, una línea recta, una esfera, etc.). El robot de co-manipulación se programa entonces para aplicar fuerzas diseñadas para llevar un punto del instrumento de vuelta a esta restricción, o a la inversa, para empujar hacia atrás un punto del instrumento cuando se acerque a esta restricción. Una forma conocida en el estado de la técnica es utilizar fuerzas elásticas (es decir, proporcionales al desplazamiento en relación con la tensión), que es una forma particular de impedancia mecánica. Esto es particularmente interesante, en el contexto de la aplicación prevista, si la punta del instrumento es su extremo distal, ya que permite guiar este extremo, por ejemplo para evitar una región anatómica determinada, o para mantener el extremo en un plano de resección. En este caso, es posible definir la restricción relativa a la anatomía del paciente y, a continuación, calcular esta restricción en el sistema de coordenadas del robot mediante un procedimiento de registro conocido. Pero esta operación es compleja porque requiere planificación y recalibración.

Por último, dado que las operaciones duran varias horas, es posible que el operador no esté manejando realmente el instrumento. Por ejemplo, puede querer apoyar el brazo o realizar otro gesto con otro instrumento. A veces, la manipulación consiste simplemente en mantener constantes la posición y la orientación del instrumento. Este es el caso, por ejemplo, cuando el instrumento es un retractor con el que el cirujano levanta (o separa) un órgano para permitir el libre acceso a una parte de la anatomía que de otro modo cubriría. En estos distintos casos, es deseable que el robot de co-manipulación pueda pasar a un modo denominado de bloqueo, que consiste simplemente en inmovilizar el instrumento sin ayuda del operador. Cambiar a un modo de bloqueo, o más generalmente cambiar de un modo de funcionamiento (con una impedancia dada) a otro (con una impedancia diferente), se efectúa generalmente utilizando un medio de control auxiliar como un botón, un pedal, una orden vocal o cualquier otro medio. La integración de este control es problemática en muchas situaciones: las manos del cirujano están ocupadas por instrumentos, lo que hace complejo el uso de controles manuales; sus pies suelen estar ocupados por los pedales de diversos dispositivos, como sistemas de imagen o instrumentos electroquirúrgicos; su voz se utiliza para comunicarse con el resto del equipo, y la carga cognitiva de la comunicación verbal con una máquina, utilizando un lenguaje específico, puede ser perturbadora. Por lo tanto, es deseable que el robot de co-manipulación sea capaz de "adivinar" a qué modo quiere el operador que cambie para realizar el cambio.

El estado de la técnica pertinente se divulga en los documentos WO 2006/124390 A2, US 6 786 896 B1, US 2007/142823 A1, WO 02/060653 A2 y "Lever - Wikipedia", 31 de enero de 2016 (2016-01-31), Obtenido de Internet:URL:<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lever&oldid=702525681>.

### Descripción de la invención

La invención está limitada por el alcance de la reivindicación independiente 1. Otras realizaciones se describen en las reivindicaciones dependientes.

Uno de los objetivos de la invención es proponer un procedimiento de ayuda no reivindicado que permita aumentar la precisión del gesto del operador al manipular el dispositivo y proponer precisamente dicho dispositivo.

Según un primer aspecto, este objetivo se consigue mediante un procedimiento de ayuda a la manipulación de un instrumento por medio de un dispositivo de ayuda a la manipulación del instrumento,

el dispositivo comprende

un brazo articulado destinado a ser fijado a un bastidor y que puede ser manipulado por un operador, al que puede fijarse un instrumento en un punto de fijación de dicho brazo articulado que forma una rótula pasiva entre el brazo articulado y el instrumento, comprendiendo el brazo articulado unos motores para desplazar el punto de fijación en un sistema de referencia vinculado al bastidor, siendo el instrumento manipulable alrededor de un punto de apoyo que tiene una posición conocida y fija en el sistema de referencia,

una unidad de procesamiento que comprende un procesador configurado para controlar los motores a fin de producir una impedancia determinada en cualquier punto de un eje del instrumento que conecta el punto de fijación con el punto de apoyo;

el procedimiento se caracteriza porque comprende las etapas de:

determinar datos relativos a una posición y/o velocidad del punto de fijación en el sistema de referencia vinculado al dispositivo de ayuda;

determinar una fuerza que debe aplicarse al punto de fijación en función de dichos datos relativos al punto de fijación, la posición del punto de apoyo, la distancia conocida desde el punto de fijación a cualquier punto, y una impedancia dada que debe impartirse a cualquier punto,

controlar los motores para transmitir esta fuerza al instrumento en el punto de fijación.

Gracias a este procedimiento, no es necesario obtener los datos suministrados por los sensores angulares en la rótula pasiva y es posible utilizar únicamente los datos de los sensores del actuador, cuya medición es precisa y sin ruido

(véase la introducción). Una solución es utilizar un modelo de palanca alrededor del punto de apoyo del instrumento, cuya posición se conoce. Este punto de apoyo suele estar situado en la cánula (insertada previamente, por ejemplo, en la pared abdominal del paciente), en la que se desliza el instrumento.

5 Conociendo los datos relativos al punto de fijación y a la posición del punto de apoyo, que es fijo, se puede producir una impedancia dada en cualquier punto del eje, como se explicará en la descripción detallada de la invención.

Según un segundo aspecto, la invención se refiere a un procedimiento no reivindicado de recalibrado automático en la ayuda a la manipulación de un instrumento mediante un dispositivo de ayuda a la manipulación del instrumento,

el dispositivo comprende

10 un brazo articulado destinado a ser fijado a un bastidor y que puede ser manipulado por un operador, al que se puede fijar un instrumento en un punto de fijación de dicho brazo articulado que forma una rótula pasiva entre el brazo articulado y el instrumento, el brazo articulado que comprende articulaciones y sensores que miden el desplazamiento, dicho brazo que permite desplazar el punto de fijación en un sistema de referencia vinculado al bastidor, el instrumento que tiene un eje de instrumento cuya dirección es conocida, una unidad de procesamiento que comprende un procesador configurado para controlar los motores;

15 el procedimiento se caracteriza por las etapas de:

obtener, en el sistema de referencia vinculado al dispositivo, una pluralidad de rectas definidas por el eje del instrumento, correspondiendo las rectas a una pluralidad de configuraciones del instrumento, estimar la existencia de una zona de intersección de dicha pluralidad de líneas, obtener la posición central de dicha zona si existe, correspondiendo entonces dicha zona a un punto de apoyo del instrumento.

20 Este procedimiento se configura automáticamente, ya que no es necesario ejecutar una rutina de parametrización antes de utilizar el instrumento. En efecto, hasta que el operador no introduce el instrumento en una cánula (que forma un punto de apoyo para el instrumento), no se detecta ninguna zona de intersección y se considera que no hay punto de apoyo. Una de las consecuencias puede ser mantenerlo en modo libre, sin ninguna impedancia particular aplicada, o con una viscosidad baja. Por otra parte, en cuanto el operador introduce el instrumento en una cánula, el procesador detecta automáticamente una zona de intersección e identifica un punto de apoyo con sus coordenadas.

25 La falta de precisión en la posición del punto de apoyo debida a los sensores (en particular los sensores pasivos de la rótula) se supera mediante la multitud de mediciones realizadas. Mediante promediado o filtrado, es posible obtener un valor preciso y con poco ruido para esta posición de forma casi continua.

30 La frecuencia de las mediciones es del orden del milisegundo, lo que significa que en menos de un segundo se han obtenido varios centenares de ecuaciones. De este modo, la co-manipulación puede utilizarse casi inmediatamente, incluso cuando el operador acaba de introducir el instrumento en la cánula.

Además, el procedimiento puede funcionar continuamente para estimar continuamente la zona de intersección de las líneas. De este modo, el sistema podrá detectar rápidamente cuándo el operador retira el instrumento de una cánula o lo coloca en otra, o cuándo se desplaza el centro de la cánula durante la operación, por ejemplo cuando el operador cambia de posición al paciente.

35 La principal ventaja del procedimiento se caracteriza principalmente porque no requiere un procedimiento especial de reajuste, sino que se lleva a cabo de forma continua, sin ninguna intervención particular del operador.

40 Según un tercer aspecto, la invención se refiere a un procedimiento no reivindicado de ayuda a la manipulación de un instrumento mediante un dispositivo de ayuda a la manipulación del instrumento,

el dispositivo comprende

45 un brazo articulado destinado a ser fijado a un bastidor y que puede ser manipulado por un operador, al que puede fijarse un instrumento en un punto de fijación de dicho brazo articulado que comprende unos motores para desplazar el punto de fijación en un sistema de referencia vinculado al bastidor, una unidad de procesamiento que comprende un procesador configurado para controlar los motores;

el procedimiento se caracteriza porque comprende las etapas de:

50 determinar la velocidad instantánea de un punto del instrumento en el sistema de referencia vinculado al dispositivo de ayuda;  
determinar una primera viscosidad que sea función decreciente de dicha velocidad instantánea,  
determinar una segunda viscosidad a partir de la primera mediante un procedimiento de filtrado que tenga al menos un parámetro que permita ajustar la dinámica del procedimiento

determinar una fuerza en dicho punto del instrumento, función:

de dicha velocidad instantánea, y  
del segundo valor de viscosidad,

controlar los motores para transmitir esta fuerza al instrumento en el punto de fijación.

5 El filtrado de la viscosidad ralentiza las variaciones de fuerza cuando varía la velocidad y elimina así los efectos de inestabilidad.

Ventajosamente, la propia medición de velocidad puede filtrarse si contiene ruido significativo.

10 El procedimiento puede aplicarse ventajosamente a un dispositivo que comprenda una rótula pasiva cuyo centro coincida con el punto de fijación y tal que el instrumento pase por un punto fijo. En este caso, el punto para calcular la velocidad y las fuerzas del procedimiento puede ser el citado punto de fijación u otro punto del eje del instrumento. En el caso de que el procedimiento se aplique a un punto del eje del instrumento que no sea el punto de fijación, el primer aspecto de la invención puede combinarse ventajosamente con el tercer aspecto de la invención para evitar el uso de sensores integrados en la rótula pasiva en el cálculo de velocidades y fuerzas.

Según un cuarto aspecto, la invención se refiere a un procedimiento de ayuda a la manipulación de un instrumento mediante un dispositivo de ayuda a la manipulación del instrumento,

15 el dispositivo comprende

un brazo articulado destinado a ser fijado a un bastidor y que puede ser manipulado por un operador, al que puede fijarse un instrumento en un punto de fijación de dicho brazo articulado, estando el brazo articulado provisto de motores para desplazar el punto de fijación en un bastidor de referencia vinculado al dispositivo de ayuda, teniendo dicho instrumento un punto de interés,  
20 una unidad de procesamiento que comprende un procesador configurado para controlar los motores;

el procedimiento se caracteriza porque comprende las etapas de:

hacer coincidir el punto de interés con puntos en el espacio y determinar la posición de dichos puntos en el espacio en el sistema de referencia vinculado al dispositivo de ayuda;  
construir una restricción geométrica definida por dichos puntos en el espacio utilizando dichas posiciones.

25 El punto de interés del instrumento puede ser ventajosamente su extremo distal, siendo entonces el procedimiento, para el operador, señalar puntos en el espacio con el extremo distal del instrumento. Estos son los puntos que el operador considera como el punto utilizado para definir la restricción geométrica.

30 La restricción geométrica puede tomar cualquier forma que pueda ser definida por una ecuación que el punto de interés debe entonces verificar. Además, según este cuarto aspecto de la invención, puede preverse a continuación una etapa para determinar una fuerza en el punto de interés del instrumento determinando la distancia entre el punto de interés del instrumento, determinado en cualquier instante durante la manipulación, y la restricción geométrica (plano, esfera, punto, etc.) por proyección ortogonal, siendo la fuerza en el punto de interés una función de un coeficiente de rigidez y de dicha distancia.

35 De este modo, el control de los motores fuerza al instrumento a posicionarse respecto al plano haciendo que el punto de interés sea atraído o repelido respecto a dicho plano. Esto puede implicar el cálculo de una fuerza en el punto de fijación en función de la fuerza en el punto de interés, por ejemplo cuando el dispositivo tiene una rótula pasiva y el instrumento pasa por un punto fijo. Los cálculos se realizan entonces de forma similar a la descrita en el primer aspecto de la invención, eligiendo como punto de interés del instrumento un punto cualquiera.

40 Según un quinto aspecto, la invención se refiere a un procedimiento no reivindicado de ayuda a la manipulación de un instrumento mediante un dispositivo de ayuda a la manipulación del instrumento,

el dispositivo comprende

45 un brazo articulado destinado a ser fijado a un bastidor y que puede ser manipulado por un operador, al que puede fijarse un instrumento en un punto de fijación de dicho brazo articulado, comprendiendo el brazo articulado unos motores para desplazar el punto de fijación en un bastidor de referencia unido al bastidor, una unidad de procesamiento que comprende un procesador configurado para controlar las motores, una pluralidad de modos de control implementados en la unidad de procesamiento por el procesador, caracterizados por impedancias predeterminadas;

el procedimiento se caracteriza porque comprende las etapas de pasar automáticamente de un modo de control a otro cuando se verifica un criterio.

50 Ventajosamente, dicho criterio sólo utilizará las medidas proporcionadas por el brazo articulado.

En particular, pueden implementarse dos modos de control:

- un modo bloqueado en el que se aplica al instrumento una impedancia de bloqueo predeterminada que garantiza que el instrumento se mantenga en su posición,
- un modo libre en el que se aplica al instrumento una impedancia de libertad predeterminada que permite su manipulación por el operador.

5 En este caso, el criterio de bloqueo puede ser la inmovilidad del instrumento durante un tiempo determinado y el criterio de desbloqueo puede ser la traslación del instrumento a lo largo de un eje del instrumento.

Los procedimientos según los diversos aspectos pueden implementarse ventajosamente solos o en combinación para superar las limitaciones de la técnica anterior presentadas en la introducción.

10 Además, la invención propone un dispositivo para asistir la manipulación de un instrumento, estando dicho dispositivo configurado para implementar uno de los procedimientos descritos anteriormente con la ayuda de una unidad de procesamiento.

Como se ha mencionado anteriormente, estos procedimientos y dispositivos pueden aplicarse en cualquier campo de la robótica que requiera una alta precisión de manipulación.

### Descripción de las figuras

15 Otras características, propósitos y ventajas de la invención se desprenderán de la siguiente descripción, que es puramente ilustrativa y no limitativa, y que debe leerse junto con los dibujos adjuntos, en los que:

- La figura 1 es una representación esquemática de un dispositivo de ayuda según una realización de la invención,
- La figura 2 es una representación esquemática que ilustra los flujos de información que pasan por el dispositivo,
- La figura 3 ilustra varios puntos característicos de un instrumento manipulado por el dispositivo,
- La figura 4 ilustra la velocidad del punto de fijación con diferentes modelos de viscosidad, para un instrumento manipulado con el dispositivo,
- Las figuras 5a y 5b ilustran diferentes posiciones de manipulación con el dispositivo, en particular el movimiento tangencial del instrumento mediante un brazo de palanca y el movimiento de traslación,
- La figura 6 ilustra una pluralidad de líneas rectas que atraviesan una cánula en la que se inserta un instrumento manipulado por el dispositivo,
- La figura 7 ilustra un conjunto de planos definidos utilizando el dispositivo,
- Las figuras 8a, 8b y 8c ilustran los criterios para desbloquear un modo bloqueado del dispositivo.

30 A lo largo de las figuras, los elementos similares llevan referencias idénticas.

### Descripción detallada

En la presente solicitud, las posiciones se definen con respecto a una referencia vinculada al bastidor al que está fijado el dispositivo, lo que permite desplazar el robot sin necesidad de reajustarlo.

35 Como se muestra en la **figura 1**, una realización del dispositivo de ayuda 1 comprende un brazo articulado 10 fijado a un bastidor B. Un instrumento 20 se fija a un punto de fijación P de dicho brazo.

El instrumento 20 es co-manipulado por un operador y por el dispositivo 1. Puede tratarse de un instrumento quirúrgico laparoscópico, como un portaagujas, unas pinzas o unas tijeras.

40 El brazo articulado 10 está motorizado por tres motores M1, M2, M3, en las tres articulaciones A1, A2, A3, lo que permite desplazar el punto de fijación P con tres grados de libertad de traslación en un sistema de referencia R vinculado al bastidor B.

Gracias a sus motores M1, M2, M3, el brazo articulado puede llevar el punto de fijación P a cualquier lugar del espacio al alcance del dispositivo 1.

Por consiguiente, el brazo articulado 10 está adaptado para transmitir una fuerza en las tres direcciones del espacio en el punto de fijación P.

45 Pueden utilizarse más de tres motores y tres articulaciones para posicionar el punto P y transmitir una fuerza al punto P.

Según el primer aspecto de la invención, la conexión en el punto de fijación P es una conexión pasiva de tipo rótula. En consecuencia, el brazo articulado 10 no puede transmitir ningún momento en el punto P al instrumento 20, que es libre de girar alrededor del punto P en relación con el brazo articulado 10.

Esta conexión puede realizarse, por ejemplo, mediante tres cuerpos sucesivos, estando cada uno de los cuerpos conectado al cuerpo que le precede mediante una conexión pivotante y los ejes. En este caso, el eje del instrumento X-X' puede coincidir ventajosamente con el eje del último pivote.

5 Una unidad de procesamiento U, que comprende un procesador U1 y una memoria de almacenamiento U2, controla los actuadores M1, M2, M3 y procesa los diversos datos relativos al uso de dicho dispositivo 1.

El instrumento 20 es alargado y se extiende a lo largo de un eje principal conocido como eje del instrumento X-X'.

Los sensores C1, C2, C3 situados en cada una de las tres articulaciones permiten conocer el movimiento de cada articulación y, por tanto, mediante la unidad de procesamiento U, la posición del punto de fijación P. Este conocimiento puede ser casi continuo.

10 Es técnicamente factible utilizar sensores en estas articulaciones que ofrezcan muy buena precisión y poco ruido. Las articulaciones motorizadas suelen tener una etapa de transmisión que aumenta el par al tiempo que reduce la velocidad. Por ejemplo, un sensor colocado en el eje del motor tendrá mayor resolución que uno que deba ser colocado directamente en el eje de salida de la articulación.

15 Ventajosamente, el dispositivo 1 comprende al menos dos sensores de posición angular C4, C5 en el punto de fijación P que miden, en combinación con los sensores C1, C2, C3, la orientación del eje del instrumento X-X' en el sistema de referencia vinculado al marco B. Sólo se necesitan dos sensores, ya que la rotación del instrumento 20 a lo largo de su eje X-X' no modifica la orientación del eje X-X' del instrumento. Cuando la rótula pasiva se realiza con tres eslabones pivotantes sucesivos, coincidiendo el eje del último eslabón pivotante con el eje del instrumento X-X', es ventajoso utilizar C4 para medir el ángulo del primer eslabón pivotante y C5 para medir el ángulo del segundo eslabón pivotante.

20 Por razones técnicas, estos sensores angulares C4, C5 ofrecen una señal con baja precisión y ruido. Actualmente es difícil implementar sensores de mejor calidad en este punto, ya que para aumentar la resolución sería necesario integrar una etapa de reducción, por ejemplo, lo que aumentaría el tamaño y el peso del dispositivo de rótula pasiva.

Por ejemplo, los sensores angulares C4, C5 son generalmente potenciómetros.

25 También es posible proporcionar otro sensor C6 que mida la rotación del instrumento 20 a lo largo de su eje X-X'. Esto permite calcular, en combinación con C1, C2, C3, C4 y C5, la posición de cualquier punto del instrumento que no se encuentre en el eje XX' del instrumento. Esto supone una ventaja en cirugía, por ejemplo, en el caso de instrumentos orientados o flexibles.

30 Del mismo modo, puede preverse un motor M6 que aplique un par a lo largo del eje X-X' del instrumento, lo que permite, en combinación con los motores M1, M2 y M3, y en el caso en que el eje X-X' del instrumento pase por un punto de apoyo fijo conocido F, aplicar fuerzas en cualquier punto del instrumento que no pertenezca a su eje X-X'.

El instrumento 20 está adaptado para penetrar en el cuerpo de un paciente 60 por una cánula 30. La cánula 30 actúa como punto de apoyo F alrededor del cual se manipula el instrumento.

35 Por consiguiente, en la cánula 30, el instrumento 20 es libre de deslizarse en traslación, y libre de pivotar alrededor del punto de apoyo F definido por la cánula 30.

Por definición, el punto de apoyo F está sustancialmente fijo en la base B pero puede moverse a lo largo del instrumento 20 durante las operaciones.

Pueden observarse varios puntos de interés en dicho instrumento 20 (véase **la figura 3**):

- 40 • El punto de fijación P, mostrado anteriormente, al que el brazo articulado puede transmitir fuerza (sin momento), y viceversa,
- El punto relativo al mango en "H" ("hand" en inglés), que corresponde al lugar donde el operador sujeta la herramienta, es decir, el extremo proximal del instrumento,
- Punto relativo a la punta en T ("tip" en inglés), que corresponde al extremo distal del instrumento y que actúa sobre el paciente,
- 45 • El punto de apoyo F ("fulcrum" en inglés), como se ha descrito anteriormente.

Para mejorar la experiencia del operador, el dispositivo de ayuda 1 puede aplicar impedancias al instrumento, es decir, simula una viscosidad, rigidez o inercia (o una combinación) aplicada al instrumento 20 y que el operador debe sentir.

Por último, el dispositivo aplica fuerzas al instrumento 20 en el punto de fijación P.

50 La posición y/o la velocidad observadas en el instrumento 20 se envían a la unidad de procesamiento U que, a su vez, envía una fuerza que debe aplicarse (véase **la figura 2**)

Las impedancias aplicables dependen de varios parámetros, como el modo de utilización o el gesto que realiza el operador. Una viscosidad  $\mu$  es una impedancia que relaciona una fuerza con una velocidad:

$$\vec{F} = -\mu \vec{v}$$

Una rigidez  $k$  es una impedancia que relaciona una fuerza con una desviación de una posición de referencia (según el signo de la rigidez, habrá una fuerza restauradora o repulsiva):

$$\vec{F} = k(\vec{x}_0 - \vec{x})$$

Una masa  $m$  es una impedancia que vincula una fuerza a una aceleración:

$$\vec{F} = -m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Existen varias leyes preestablecidas que determinan qué valores de impedancia aplicar. Estas impedancias pueden ser a su vez función de la posición o de la velocidad de un punto del instrumento 20.

Como se ha mencionado en la introducción, el punto de fijación P, que corresponde directamente al punto de aplicación de la fuerza del dispositivo 1 al instrumento 20, parece ser el punto natural para aplicar una impedancia. Sin embargo, para mejorar la utilización del dispositivo 1, puede decidirse, por ejemplo, que la rigidez que sienta el operador sea la misma en el mango H, cualquiera que sea la posición del punto de apoyo F en el instrumento 20, es decir, cualquiera que sea la profundidad del instrumento 20 en el cuerpo del paciente.

En consecuencia, debe ser posible definir la viscosidad en casi cualquier momento en el punto relativo al mango H.

Otro ejemplo es definir la viscosidad en la punta T.

En todos estos casos, para aplicar una fuerza pertinente y que ayude al operador a manipular el instrumento 20, es necesario obtener datos relativos a la posición o a la velocidad de estos puntos (H o T u otro punto del eje XX' del instrumento), que son diferentes del punto de fijación P.

#### Procedimiento del brazo de palanca

Uno de los procedimientos propuestos permite obtener estos datos para cualquier punto Q situado en el eje X-X' del instrumento. Para ello, se supone que el instrumento 20 está colocado en la cánula 30 y tiene dicho punto de apoyo F. Por consiguiente, el eje X-X' del instrumento pasa por los puntos de fijación P y el punto de apoyo F.

También se supone que se conoce la posición del punto de apoyo F. Hay varias formas de conocer esta posición. Por ejemplo, puede realizar previamente una rutina de calibración, o introducir las coordenadas, o aplicar un procedimiento que se describirá más adelante.

El procedimiento de obtención de dichos datos a partir de un punto situado en el eje X-X' del instrumento consiste en realizar las siguientes etapas, mediante la unidad de procesamiento U:

- determinar los datos E1 relativos a una posición y/o a una velocidad del punto de fijación P en el sistema de referencia vinculado al dispositivo 1,
- determinar los datos de velocidad o posición E2 para un punto Q del instrumento 20 situado en el eje X-X' del instrumento utilizando dichos datos relativos al punto de fijación P, la distancia conocida PQ desde el punto de fijación P a cualquier punto Q en el eje X-X' del instrumento, y la posición conocida del punto de apoyo F,
- determinar E3 una fuerza  $F_Q$  por medio de una impedancia a impartir al instrumento en dicho punto Q del instrumento 20, y por medio de los datos determinados en la etapa E2 de dicho punto Q del instrumento 20,
- determinar E4 una fuerza  $F_P$  que se aplicará al punto de fijación P utilizando la fuerza anterior  $F_Q$  en cualquier punto Q, y utilizando los datos relativos al punto de fijación P y a la posición del punto de apoyo F,
- control E5 de los motores M1, M2, M3 para transmitir la fuerza  $F_P$  que debe aplicarse al punto de fijación P al instrumento en el punto de fijación P.

Así, la etapa E1 comprende una adquisición de datos de los sensores con procesamiento por la unidad de procesamiento U, las etapas E2 a E4 son etapas de procesamiento por la unidad de procesamiento U y, por último, la etapa E5 comprende instrucciones para activar los motores.

Este procedimiento no requiere el conocimiento de la orientación del eje del instrumento 20 y, por consiguiente, no requiere el uso de sensores de ángulo C4, C5 en la rótula del punto de fijación P.

Como se ha mencionado anteriormente, dichos sensores son de baja calidad, a diferencia de los sensores C1, C2, C3 de las articulaciones A1, A2, A3, que ofrecen una señal precisa con poco ruido.

Durante la etapa E2, para determinar la posición del punto Q a partir de la posición del punto P, la posición del punto F y la distancia  $d = PQ$  de P a Q a lo largo del eje X-X' del instrumento, se puede utilizar el siguiente procedimiento: en primer lugar, calcular el vector unitario  $\vec{x}_l$  del eje X-X' del instrumento:

$$\vec{x}_l = (1/\|\overrightarrow{PF}\|)\overrightarrow{PF},$$

- 5 a continuación, calcular la posición del punto Q con respecto al punto P:

$$\overrightarrow{PQ} = d \vec{x}_l.$$

Durante la misma etapa E2, el conocimiento de la posición del punto P, de la velocidad del punto P, de la posición de F y de  $\vec{x}_l$  permite calcular la velocidad de un punto Q dado sobre el eje del instrumento situado a una distancia dada  $d = PQ$  de P, utilizando un modelo de palanca conocido por el experto:

$$\vec{v}(Q) = (\vec{v}(P) \cdot \vec{z}_l) \vec{z}_l + \left( \frac{FQ}{FP} \right) (\vec{v}(P) - (\vec{v}(P) \cdot \vec{z}_l) \vec{z}_l),$$

donde  $FP$  y  $FQ = FP + d$  y son las distancias con signo de los puntos F a P, y de F a Q, respectivamente.

De manera dual, durante la etapa E4, conocer la fuerza  $F_Q$  que debe aplicarse al punto Q permite aplicar la fuerza equivalente al punto P mediante un modelo de palanca conocido por los expertos en la materia:

$$\vec{F}_P = (\vec{F}_Q \cdot \vec{x}_l) \vec{x}_l + \left( \frac{FQ}{FP} \right) (\vec{F}_Q - (\vec{F}_Q \cdot \vec{x}_l) \vec{x}_l)$$

- 15 Para un movimiento de rotación puro alrededor del punto de apoyo F, basta con conocer el brazo de palanca y una velocidad en un único punto (punto P) (véase la **figura 5a**). Para un movimiento de traslación a lo largo del eje X-X', todos los puntos del instrumento 20 tienen la misma velocidad (véase la **figura 5b**).

La **figura 3** muestra las distancias implicadas en los cálculos, en particular las longitudes  $l_{HP}$ ,  $l_{PF}$  e  $l_{PT}$  si el punto Q corresponde al mango o a la punta.

- 20 Una vez obtenida la fuerza a aplicar en cualquier punto Q, el brazo de palanca puede ser utilizado para determinar la fuerza a aplicar por los actuadores M1, M2, M3 en el punto de fijación P.

La siguiente cadena lógica se obtiene cuando, por ejemplo, la impedancia implica sólo la velocidad:

$$\vec{v}(P) \xrightarrow{E2 \text{ (palanca)}} \vec{v}(Q) \xrightarrow{E3 \text{ (impedancia en Q)}} \vec{F}_Q \xrightarrow{E4 \text{ (palanca)}} \vec{F}_P$$

Según un modo preferido, el punto Q corresponde al punto T relativo a la punta, o al punto H relativo al mango.

- 25 Esto es importante para la calidad de la interacción. Por ejemplo, si la impedancia es un simple coeficiente de viscosidad y cualquier punto Q coincide con el punto T, entonces este procedimiento producirá una viscosidad isótropa en el punto T, es decir, la fuerza en T,  $F_T$ , será siempre paralela a la velocidad en T,  $v(T)$ , a la que se opone.

Por el contrario, si cualquier punto Q coincidiera con el punto P, como es convencional sin recurrir a las etapas (E2) y (E4), entonces tendríamos una viscosidad anisotrópica en el punto T, es decir, la fuerza en T,  $F_T$ , no sería necesariamente paralela a la velocidad de T,  $v(T)$ .

- 30 Además, los cálculos detallados en las tres etapas anteriores pueden aplicarse, previa reformulación, en una única etapa que no muestre explícitamente la velocidad de Q  $v(Q)$  y la fuerza a aplicar a cualquier punto Q, lo que equivale a escribir una función directa que vincule la posición y la velocidad del punto de fijación P con la fuerza que debe aplicarse al punto de fijación P, utilizando únicamente el conocimiento de la posición de F, la impedancia que debe aplicarse a cualquier punto Q y la distancia d que define la posición conocida del punto Q en el eje X-X' del instrumento. Por consiguiente, las etapas E2 a E4 pueden reducirse a una etapa de procesamiento en la que se determina una fuerza que debe aplicarse al punto de fijación en función de dichos datos relativos al punto de fijación, y de una distancia conocida desde el punto de fijación P a cualquier punto Q, con el fin de impartir una impedancia dada a cualquier punto Q.

- 40 Procedimiento de autocalibrado

El procedimiento de autocalibrado permite, en primer lugar, saber si el instrumento 20 está realmente posicionado en una cánula 30 y, por tanto, tiene un punto de apoyo F y, en caso afirmativo, conocer la posición de dicho punto de apoyo F.

Se supone que la unidad de procesamiento U puede conocer la ecuación del eje del instrumento. Esto es posible gracias a los cinco sensores del brazo articulado C1, C2, C3, C4, C5. Una vez más, le recordamos que no es necesario disponer de un sexto sensor.

El procedimiento comprende las siguientes etapas:

- 5           • Obtener E01 en el sistema de referencia del dispositivo de una pluralidad de rectas  $\Delta$  definidas por el eje del instrumento X-X', correspondiendo las rectas a una pluralidad de configuraciones del instrumento,
- estimar E02 la existencia de una zona de intersección  $V_{oi}$  de dicha pluralidad de rectas  $\Delta$ ,
- obtener E03 la posición central de dicha zona  $V_{oi}$  si existe, correspondiendo entonces dicha zona al punto de apoyo del instrumento F.

- 10       En este procedimiento, no es necesario tener actuadores M1, M2 o M3. Para averiguar cuáles son estas líneas, sólo se necesitan suficientes sensores, en este caso los cinco sensores C1 a C5.

La **figura 6** muestra líneas rectas superpuestas resultantes de un desplazamiento de dicho instrumento 20. Como muestra la figura, se cruzan en una zona correspondiente al punto de apoyo F.

- 15       En efecto, la inexactitud de los sensores angulares C4, C5 se compensa mediante la pluralidad de mediciones realizadas, ya sea promediando o filtrando, o ambas cosas. El tiempo de adquisición es del orden de un milisegundo, lo que significa que en aproximadamente un segundo se recoge una cantidad de información suficiente para obtener un resultado fiable sobre la existencia o no de una zona de intersección y su posible posición.

- 20       Los algoritmos para resolver sistemas matriciales lineales son conocidos en la literatura. En particular, debido a las imprecisiones de medición y a la inmovilidad no perfecta de la cánula 30, la zona de intersección es un volumen  $V_{oi}$ . En función de los criterios elegidos (tamaño, etc.), se puede validar o no la presencia de un punto de apoyo.

Por ejemplo, el sistema lineal puede resolverse utilizando un enfoque de mínimos cuadrados.

La posición del punto de apoyo F corresponde, por ejemplo, al centro de dicho volumen  $V_{oi}$ .

- 25       Convenientemente, mientras el operador agarra el instrumento, la unidad U calcula la ecuación de la línea  $\Delta$  del eje X-X' del instrumento a intervalos regulares (por ejemplo, cada milisegundo). La unidad U también puede esperar antes de calcular una nueva ecuación de línea, no para un tiempo determinado, sino para un desplazamiento determinado del punto P para garantizar que no se superpongan todas las líneas. Mientras el operador no haya insertado el instrumento 20 en una cánula 30, la unidad U no encontrará una zona de intersección y, por lo tanto, sabrá que el instrumento 20 no está insertado en una cánula 30.

- 30       Una vez que el operador ha introducido el instrumento 20 en una cánula 30, la unidad U determina, en un tiempo del orden de un segundo, la existencia de dicha zona y conoce así la posición del punto de apoyo F.

El procedimiento puede comprender una etapa adicional E05 consistente en aplicar una fuerza en el punto de apoyo P con ayuda de una impedancia predeterminada, cuando no se identifica ninguna zona de intersección.

Por ejemplo, se puede aplicar una viscosidad bastante baja en el punto de fijación P para que el operador pueda mover el instrumento 20 con facilidad.

- 35       A diferencia de las rutinas preexistentes, este procedimiento de detección automática del punto de apoyo F no necesita realizarse de antemano. De este modo, el operador puede utilizar directamente el instrumento 20.

Esto ofrece ventajas significativas:

- 40           • cuando el paciente se mueve, o cuando el operador mueve al paciente (choque en la mesa de operaciones), la posición del punto de apoyo F cambia y el dispositivo 1 puede así alertar al operador,
- cuando el operador cambia la cánula 30, no es necesario recalibrarla, lo que ahorra tiempo y reduce los riesgos.

Dicho procedimiento puede utilizarse independientemente del procedimiento de brazo de palanca descrito anteriormente.

#### Procedimiento con modelo de viscosidad filtrada

- 45       Este procedimiento se refiere a los casos en los que la impedancia es una viscosidad y se desea evitar los efectos de inestabilidad mencionados en la introducción (véase la curva 70 de la **figura 4**, comparada con la curva de referencia 71).

Se supone que se conoce la posición de un punto Q (si es necesario, puede utilizarse el procedimiento descrito anteriormente para el procedimiento del brazo de palanca).

El procedimiento comprende las siguientes etapas:

- (E1') determinan la velocidad instantánea  $v(Q)$  de un punto Q del instrumento 20 en el sistema de referencia vinculado al dispositivo de ayuda 1,
- (E21') determinar una primera viscosidad que sea función decreciente de dicha velocidad instantánea  $v(Q)$ ,
- 5   • (E22') determinar una segunda viscosidad a partir de la primera viscosidad mediante un procedimiento de filtrado que tenga al menos un parámetro que permita ajustar la dinámica del procedimiento,
- (E3') determinar una fuerza  $F_Q$  en dicho punto Q del instrumento 20, función:
  - de dicha velocidad  $v(Q)$ ,
  - del segundo valor de viscosidad,

10 Finalmente, la etapa de control del motor es convencional.

Cuando el punto Q es diferente del punto de fijación P, el modelo de brazo de palanca puede utilizarse tanto para calcular velocidades ( $v(P) \Rightarrow v(Q)$ ) como para calcular fuerzas ( $F_Q \Rightarrow F_P$ ).

Cuando la señal de velocidad  $v(Q)$  es ruidosa, puede añadirse una etapa de filtrado de dicha velocidad  $v(Q)$  entre la etapa E1' y la etapa E21'.

15 Este procedimiento ralentiza la dinámica de variación de la viscosidad y ofrece una estabilidad no permitida anteriormente (véase la curva 72 de la **figura 4**).

El coeficiente parametrizable es típicamente una constante de tiempo que puede ajustarse para optimizar la dinámica del procedimiento.

20 Dicho procedimiento puede utilizarse independientemente de los procedimientos de brazo de palanca y autocalibración descritos anteriormente.

#### Procedimiento del instrumento de puntero

A continuación se describirá otro procedimiento. Del mismo modo, puede aplicarse ventajosamente en combinación con el procedimiento para aplicar una fuerza en el punto de fijación P.

25 Por ejemplo, se desea establecer una restricción geométrica utilizando campos de fuerza elásticos, tales como un plano de atracción o repulsión, para establecer una guía para el instrumento 20. Por ejemplo, si no se quiere alcanzar una zona del paciente, poder definir un plano de repulsión puede limitar los riesgos para el operador.

Más generalmente, para establecer la tensión, se define un punto de interés del instrumento: ventajosamente, este punto de interés es su extremo distal.

Para ello, el procedimiento comprende las siguientes etapas:

- 30   • hacer coincidir E01' el punto de interés con puntos en el espacio y determinar E02' su posición en el sistema de referencia vinculado al dispositivo de ayuda 1,
- construir E03' una restricción geométrica definida por dichos puntos en el espacio utilizando dichas posiciones.

35 Cuando el punto de interés es el extremo distal, el procedimiento consiste en que el operador designe puntos en el espacio con dicho extremo.

Una vez hecho esto, se pueden definir varios tipos de restricciones geométricas.

Por ejemplo, la restricción geométrica puede ser un plano, en cuyo caso es ventajoso señalar tres puntos no coplanares, determinándose entonces el plano como el que pasa por dichos tres puntos.

40 La restricción geométrica también puede ser una línea recta y en este caso es ventajoso señalar dos puntos distintos, determinándose entonces la línea recta como la que pasa por dichos dos puntos.

La restricción geométrica puede ser una esfera, en cuyo caso es ventajoso señalar dos puntos distintos, definiéndose entonces la esfera como aquella cuyo centro es el primero de dichos dos puntos y que pasa por el segundo de dichos dos puntos.

45 La restricción puede reducirse a un solo punto, en cuyo caso es ventajoso definirla apuntando directamente a este punto.

La **figura 7** muestra una serie de planos PLAN1, ..., PLAN 5, que definen un espacio en el que se anima al instrumento a permanecer (planos de repulsión), utilizando rigideces apropiadas para cada uno de los planos PLAN1, ..., PLAN 5.

En este ejemplo, el punto de interés definido para el procedimiento de apuntar y el punto arbitrario Q definido para el procedimiento de brazo de palanca son un mismo punto. El procedimiento comprende entonces ventajosamente las siguientes etapas, tras la determinación del plan:

- 5
  - determinación E31' de la distancia entre dicho punto Q del instrumento 20 y el plano PLAN1, por proyección ortogonal,
  - determinación E32" de la fuerza  $F_Q$  en dicho punto Q, siendo dicha fuerza  $F_Q$  función de un coeficiente de rigidez y de dicha distancia.

Las etapas para determinar la fuerza E4 en el punto de fijación P y para controlar E5 los actuadores M1, M2, M3 son los utilizados convencionalmente o los descritos anteriormente.

#### 10 Procedimiento de cambio de estado

Este procedimiento facilita y hace más intuitivo para el operador el uso del dispositivo.

Para ello, la unidad de procesamiento U se ha configurado para comprender una pluralidad de modos de control, cada modo de control con una impedancia predeterminada y un criterio de conmutación predeterminado. El procedimiento consiste en pasar de un modo a otro cuando se cumple un criterio de conmutación predeterminado.

- 15 De este modo, se consigue una conmutación automática que no requiere más acción que la manipulación del instrumento por parte del operador. Ventajosamente, los criterios predeterminados dependen únicamente de las medidas proporcionadas por el brazo articulado.

El procedimiento de cambio de estado puede aplicarse en cualquier momento durante los otros procedimientos descritos.

- 20 Según una realización, el procedimiento consiste en cambiar de estado entre dos modos de control denominados modo bloqueado (destinado a mantener el instrumento en posición aunque el operador lo suelte) y modo libre (destinado a dejar al operador libre para manipular el instrumento).

El procedimiento puede entonces comprender las siguientes etapas:

- 25
  - verificación E6 de un criterio de bloqueo y entrada en modo de bloqueo para el que se aplica al instrumento una impedancia de bloqueo predeterminada, si la verificación es positiva,
  - verificación E7 de un criterio de desbloqueo y puesta en modo libre para el que se aplica al instrumento una impedancia de libertad predeterminada, si la verificación es positiva.

- 30 Una realización ventajosa define la impedancia de libertad como una viscosidad de valor bajo para permitir la manipulación por el operador y/o la impedancia de bloqueo comprende una rigidez suficientemente elevada para garantizar que el instrumento se mantenga en posición.

A continuación, pueden aplicarse los demás procedimientos descritos anteriormente.

Una realización ventajosa define el criterio de bloqueo como la inmovilidad durante un periodo de tiempo determinado (por ejemplo, tres segundos) y el criterio de desbloqueo como una traslación "hacia fuera" del instrumento a lo largo del eje X-X' del instrumento (véase la **figura 8a**). Estos dos criterios son independientes.

- 35 Las **figuras 8b y 8c** muestran dos movimientos que, en este caso, no desbloquearían el modo bloqueado.

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de ayuda a la manipulación de un instrumento (20), que comprende:

un brazo articulado (10) destinado a ser fijado a un bastidor (B) y que puede ser manipulado por un operador, al que se puede fijar un instrumento (20) en un punto de fijación (P) de dicho brazo articulado (10) formando una rótula pasiva entre el brazo articulado (10) y el instrumento (20), la rótula pasiva no transmite ningún momento al punto de fijación (P) del instrumento (20) y permite la libre manipulación del instrumento (20) por parte del operador, comprendiendo el brazo articulado unos motores (M1, M2, ...) para desplazar el punto de fijación (P) en un sistema de referencia (R) unido al bastidor (B), pudiendo ser manipulado el instrumento (20) alrededor de un punto de apoyo (F) que tiene una posición conocida y fija en el sistema de referencia (R),

una unidad de procesamiento (U) que comprende un procesador (U1) configurado para controlar los motores (M1, M2, ...); estando el dispositivo configurado para implementar una etapa preliminar (E0) de determinación de la posición del punto de apoyo (F) en dicho sistema de referencia (R) de la siguiente manera:

- Obtención (E01), en el sistema de referencia (R), de una pluralidad de rectas ( $\Delta$ ) definidas por el eje del instrumento (X-X'), correspondiendo las rectas a una pluralidad de posiciones de dicho instrumento (20) alrededor del punto de apoyo (F) y pasando por el punto de fijación (P), obteniéndose cada recta tras un desplazamiento dado del punto de fijación (P);
- Estimación (E02) de una zona ( $V_{oi}$ ) de intersección de dicha pluralidad de rectas ( $\Delta$ ),
- Obtención (E03) de la posición del centro de dicha zona ( $V_{oi}$ ), que corresponde al punto de apoyo (F),

estando el dispositivo configurado para determinar (E1) datos relativos a una posición y/o velocidad del punto de fijación (P) en el sistema de referencia (R);

estando la unidad de procesamiento configurada para:

determinar (E2, E3, E4) una fuerza  $\overrightarrow{F_p}$  que debe aplicarse al punto de fijación (P) para aplicar una impedancia dada en un punto (Q) situado en el eje del instrumento (X-X') que conecta el punto de fijación (P) con el punto de apoyo (F), estando el punto (Q) situado a una distancia conocida  $\overrightarrow{PQ}$  del punto de fijación (P), siendo la fuerza que debe aplicarse función de dichos datos relativos al punto de fijación (P), de la posición del punto de apoyo (F), de la distancia conocida  $\overrightarrow{PQ}$  del punto de fijación (P) al punto (Q) y de la impedancia dada que debe aplicarse al punto (Q); estando el dispositivo configurado también para controlar (E5) los motores (M1, M2, ...) para transmitir la fuerza  $\overrightarrow{F_p}$  determinada al instrumento (20) en el punto de fijación (P), a fin de producir la impedancia en el punto (Q).

2. Dispositivo según la reivindicación anterior, en el que la unidad de procesamiento (U) está configurada para implementar la etapa de determinar la fuerza  $\overrightarrow{F_p}$  que debe aplicarse al punto de fijación de la siguiente manera:

- determinar (E2) los datos de velocidad y/o posición del punto del instrumento (Q) situado en un eje del instrumento (X-X') que pasa por el punto de fijación (P) y el punto de apoyo (F), mediante dichos datos relativos al punto de fijación (P) y a la posición del punto de apoyo (F);
- determinar (E3) una fuerza  $\overrightarrow{F_Q}$  que debe aplicarse al punto Q en función de una impedancia que debe impartirse al instrumento (20) en dicho punto (Q) del instrumento (20) y en función de los datos determinados a partir de dicho punto (Q) del instrumento (20);
- determinar (E4) una fuerza  $\overrightarrow{F_p}$  que debe aplicarse al punto de fijación (P) en función de la fuerza  $\overrightarrow{F_Q}$  que debe aplicarse al punto (Q) y de los datos relativos al punto de fijación P y a la posición del punto de apoyo (F).

3. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, configurado de manera que la impedancia comprende una viscosidad y la fuerza  $\overrightarrow{F_p}$  aplicada al punto de fijación (P) es una fuerza de resistencia en sentido opuesto a su desplazamiento.

4. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, configurado de manera que la impedancia comprende una rigidez y la fuerza  $\overrightarrow{F_p}$  aplicada al punto de fijación (P) es una fuerza en el mismo sentido o en sentido contrario a su desplazamiento, según el signo de la rigidez.

5. Dispositivo según la reivindicación anterior, en el que el brazo articulado (10) comprende tres articulaciones (A1, A2, A3) cada una accionada por un motor (M1, M2, M3) y cada una de las cuales comprende un sensor (C1, C2, C3) para determinar la posición del punto de fijación (P) en el sistema de referencia (R).

6. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el dispositivo (1) comprende dos sensores de posición angular (C4, C5) en el punto de fijación (P) para obtener la orientación del eje del instrumento (X-X').

7. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la unidad de procesamiento (U) está configurada de modo que la impedancia incluye una viscosidad, y en el que la etapa (E3) de determinar la fuerza  $\overrightarrow{F_Q}$  en dicho punto (Q) se implementa de la siguiente manera para determinar la impedancia a impartir:

- 5
- determinación (E1') de la velocidad instantánea ( $\vec{v}(Q)$ ) de dicho punto (Q) del instrumento,
  - determinación (E21') de una primera viscosidad que es función decreciente de dicha velocidad instantánea ( $\vec{v}(Q)$ ),
  - determinación (E22') de una segunda viscosidad a partir de la primera viscosidad mediante un procedimiento de filtrado que tiene al menos un parámetro que permite ajustar la dinámica del procedimiento;
  - determinación (E3') de la fuerza en dicho punto del instrumento, en función de:
    - de dicha velocidad ( $\vec{v}(Q)$ ), y
    - del segundo valor de viscosidad utilizado para ajustar la dinámica.
- 10 8. Dispositivo según la reivindicación anterior, en el que la unidad de procesamiento (U) está configurada de modo que la velocidad instantánea del punto (Q) se filtre.
9. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la unidad de procesamiento (U) está configurada además para ejecutar etapas consistentes en:
- 15
- hacer coincidir un punto del instrumento (E01') con puntos del espacio y determinar la posición de dichos puntos del espacio en el sistema de referencia vinculado al dispositivo de ayuda;
  - construir (E03') una restricción geométrica definida por dichos puntos en el espacio utilizando dichas posiciones.
10. Dispositivo según la reivindicación precedente, en el que la unidad de procesamiento (U) está configurada de modo que la impedancia comprende una rigidez, y en el que la unidad de procesamiento está configurada para implementar una etapa preliminar de construcción de un plano, siendo dicho punto de instrumento un extremo distal, comprendiendo dicha etapa la siguiente subetapa:
- 20
- Apuntar (E01') con el extremo distal de al menos tres puntos no colineales y determinar su posición, y determinar (E02') su posición en el sistema de referencia (R),
  - Construir (E03') un plano (PLAN1) que pase por los tres puntos utilizando las tres posiciones, comprendiendo la etapa (E3) de determinación de la fuerza ( $\vec{F}_p$ ) en el punto de fijación (P) las siguientes sub-etapas:
- 25
- determinación (E31'') de la distancia entre dicho punto (Q) del instrumento (20) y el plano por proyección ortogonal,
  - determinación (E32'') de la fuerza ( $\vec{F}_Q$ ) en función de una rigidez y de dicha distancia.
- de modo que la etapa de control de los motores (E5) fuerza al instrumento a posicionarse con respecto al plano (PLAN1) provocando la atracción o repulsión de dicho punto (Q) del eje del instrumento (X-X') con respecto a dicho plano (PLAN1).
- 30
11. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que una pluralidad de modos de conmutación están implementados en la unidad de procesamiento (U), teniendo cada modo una impedancia predeterminada, estando la unidad de procesamiento (U) configurada para implementar etapas consistentes en conmutar automáticamente de un modo de control a otro cuando se verifica un criterio.
- 35 12. Dispositivo según la reivindicación precedente, en el que dicho al menos un criterio implica únicamente datos relativos a dicho dispositivo de ayuda cuando se aplica el procedimiento.
13. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 12 ó 13, en el que la unidad de procesamiento (U) está configurada para implementar dos impedancias parametrizadas para definir respectivamente un modo libre y un modo bloqueado, e implementar un criterio de bloqueo que permite pasar del modo libre al modo bloqueado y un criterio de desbloqueo que permite pasar del modo bloqueado al modo libre.
- 40 14. Dispositivo según la reivindicación anterior en el que el criterio de bloqueo es la inmovilidad del instrumento (20) durante un periodo de tiempo determinado y el criterio de desbloqueo es la traslación del instrumento (20) a lo largo del eje del instrumento (X-X').

FIG. 1

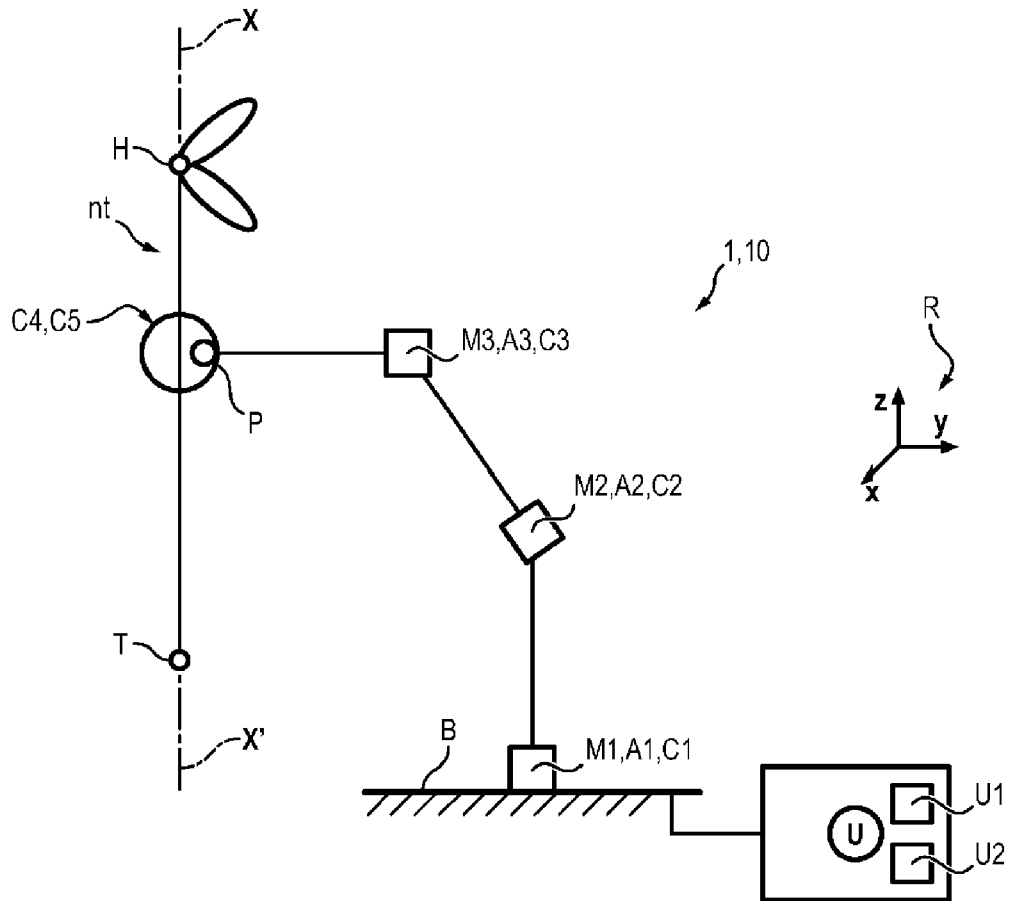
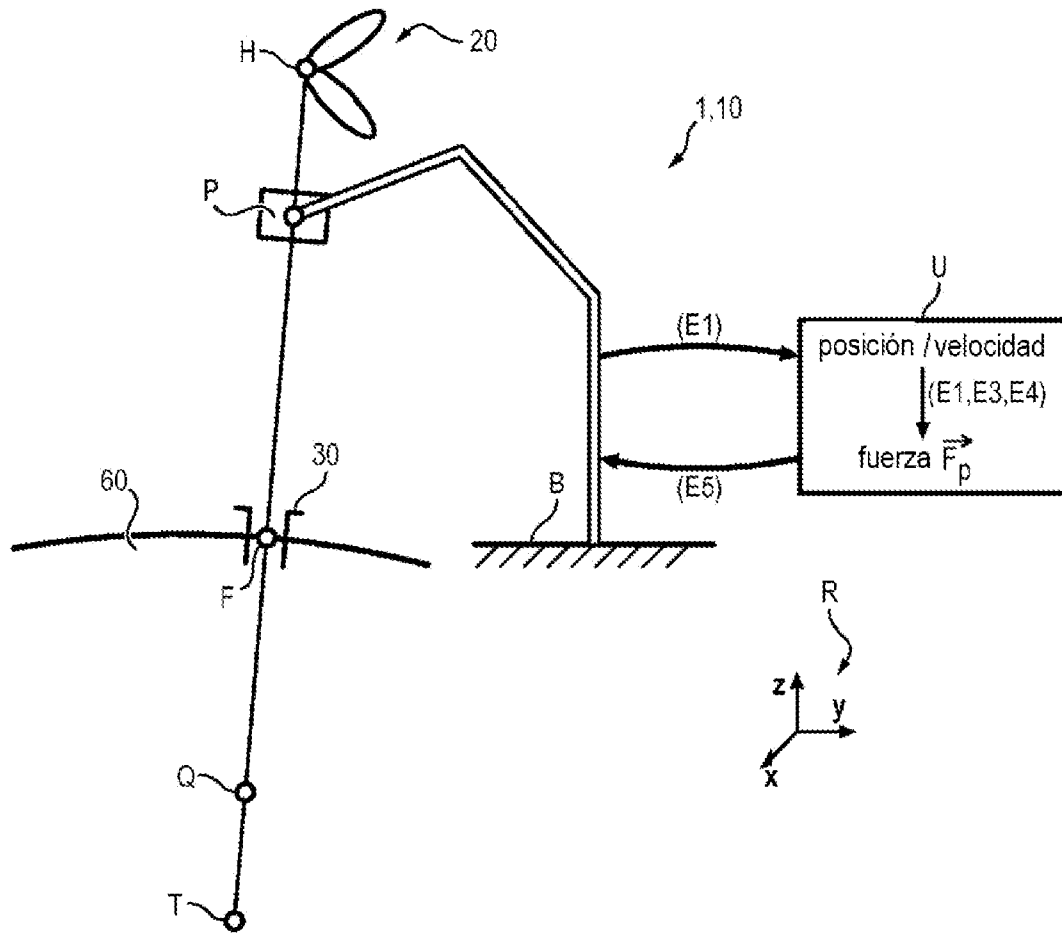


FIG. 2



**FIG. 3**

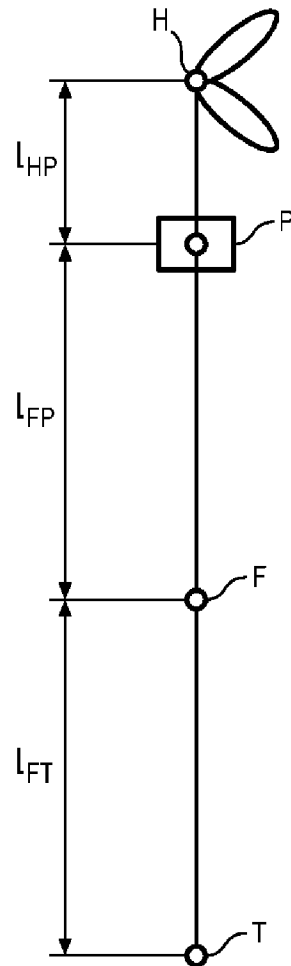


FIG. 4

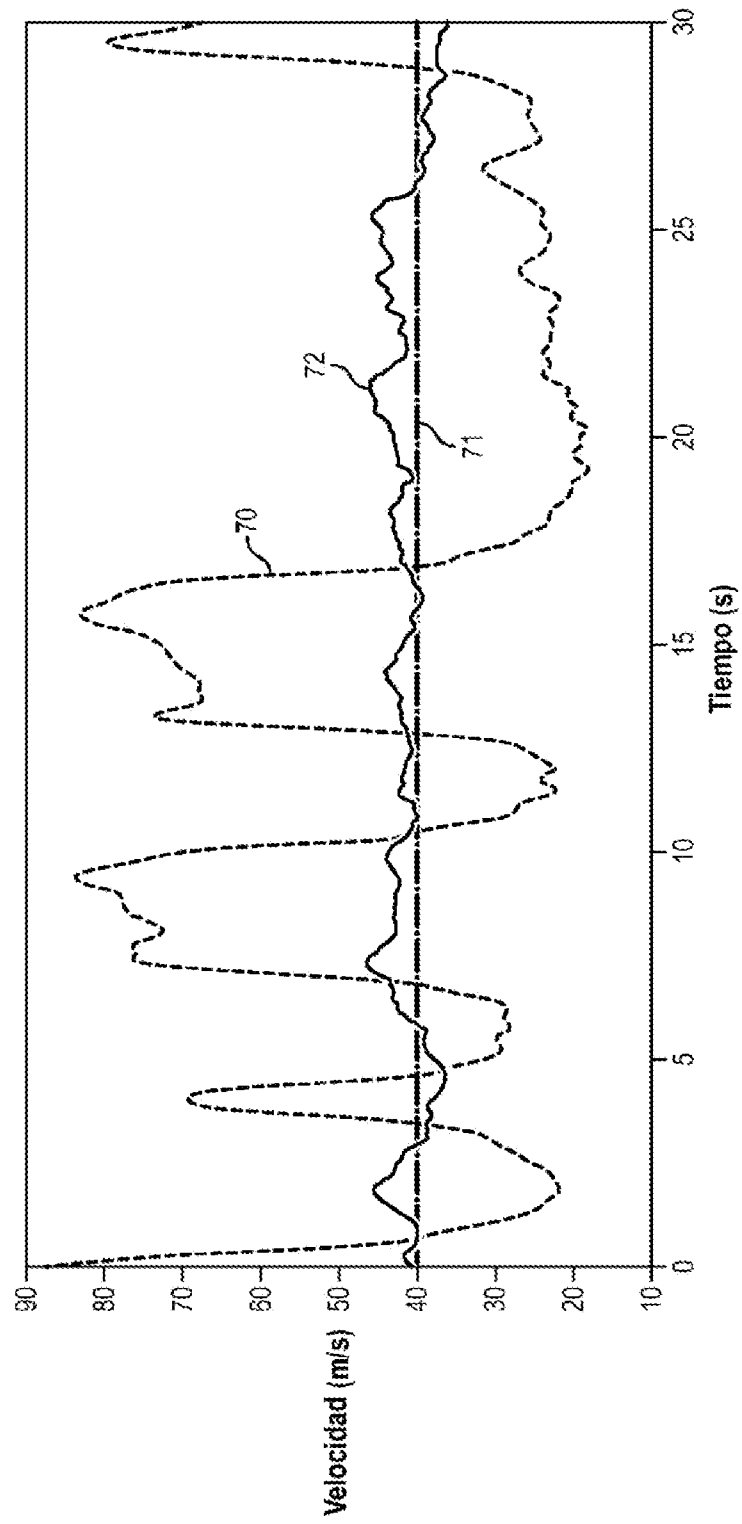


FIG. 5a

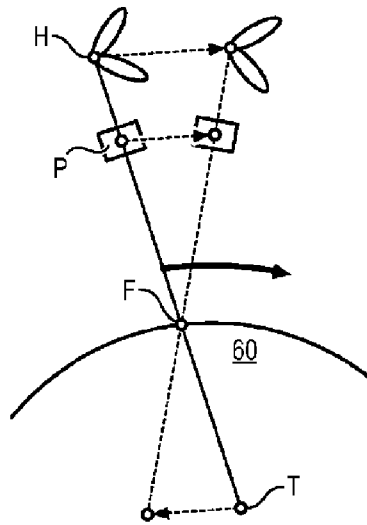


FIG. 5b

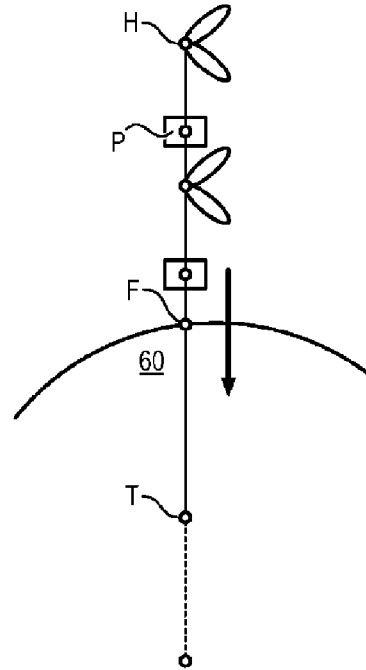


FIG. 6

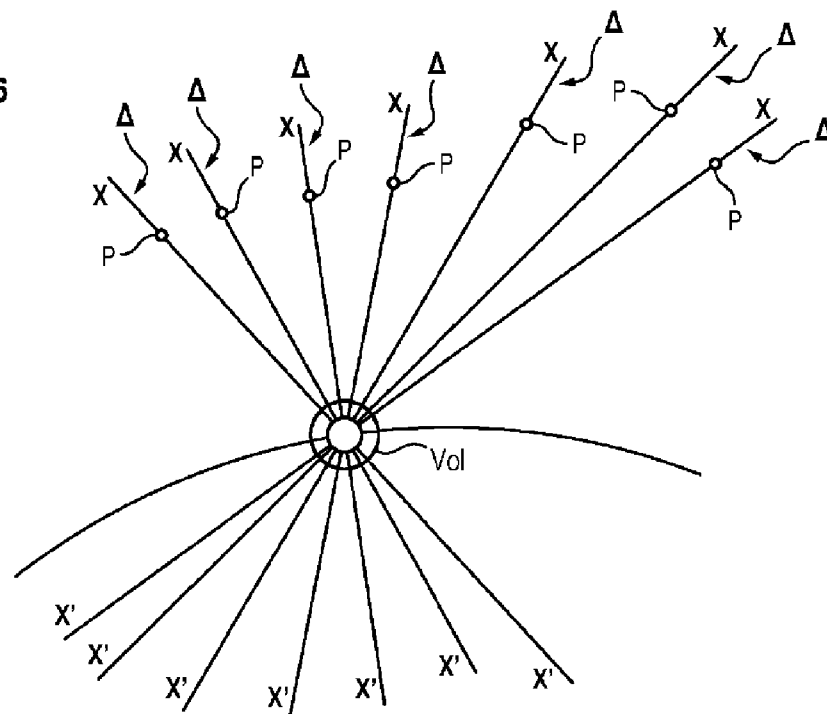


FIG. 7

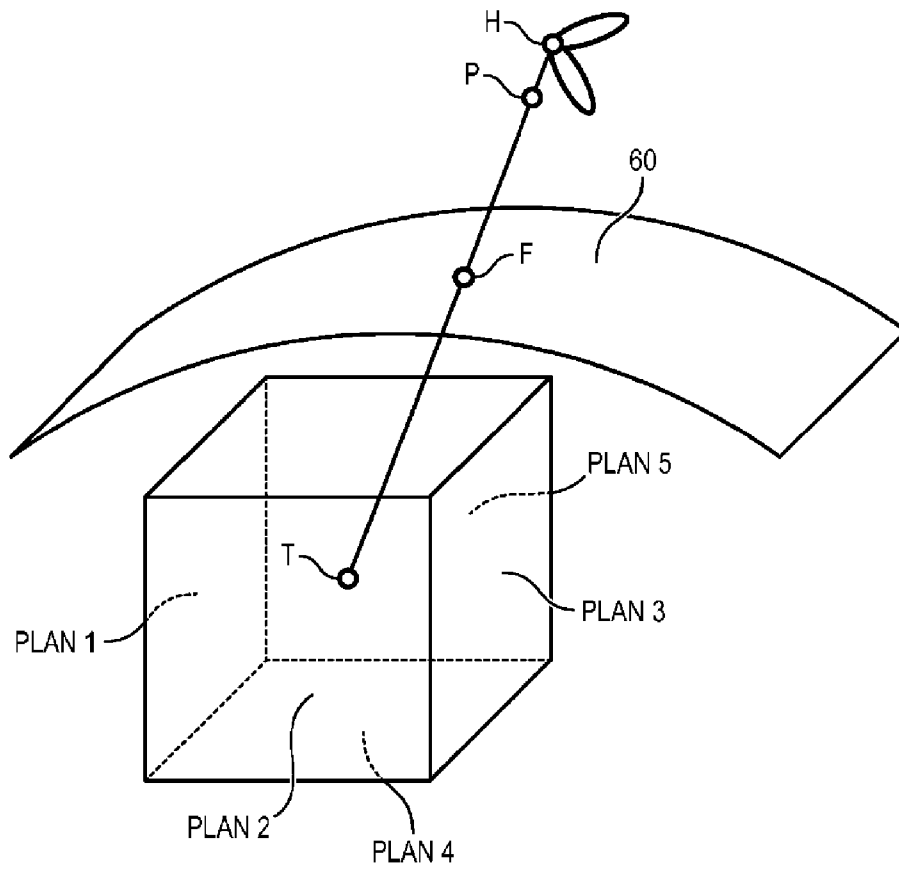


FIG. 8c

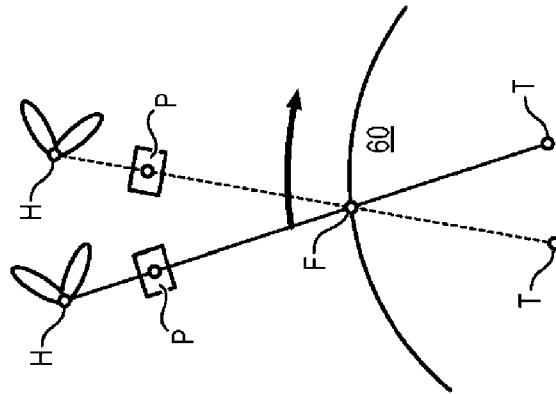


FIG. 8b

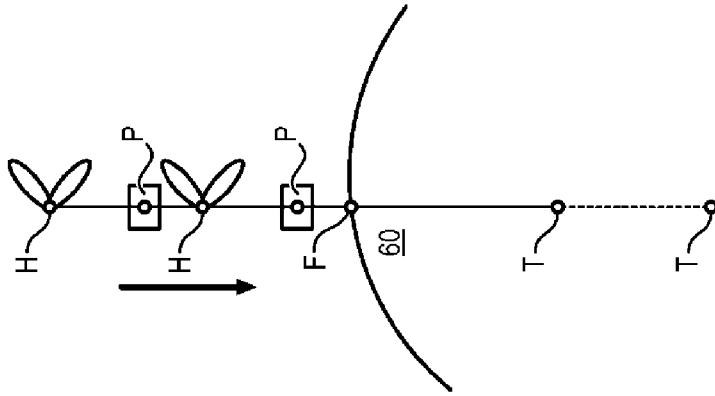


FIG. 8a

