

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 811 977**

51 Int. Cl.:

B25J 9/06 (2006.01)

E21B 41/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.01.2016 PCT/EP2016/050569**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2016 WO16120071**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.01.2016 E 16700378 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.06.2020 EP 3250345**

54 Título: **Robot de brazo manipulador subacuático**

30 Prioridad:

29.01.2015 GB 201501479

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

15.03.2021

73 Titular/es:

EELUME AS (100.0%)

Kongens gate 30

7012 Trondheim, NO

72 Inventor/es:

PETTERSEN, KRISTIN Y.;

LILJEBÄCK, PÅL;

SØRENSEN, ASGEIR J.;

STAVDAHL, ØYVIND;

LUND, FREDRIK;

TRANSETH, AKSEL A. y

GRAVDAHL, JAN TOMMY

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 811 977 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

Robot de brazo manipulador subacuático

5 La presente invención se refiere a un robot de brazo manipulador subacuático con una herramienta, por ejemplo, un robot sumergible capaz de transitar, maniobrar y posicionarse dinámicamente (mantenimiento/flotación de la estación) y también proporciona capacidades para inspección, mantenimiento y reparación (IMR).

10 Los robots sumergibles se utilizan para diversos fines en la técnica anterior. Los robots autónomos y controlados a distancia pueden tomar muchas formas y tamaños y han sido adaptados para numerosos propósitos. Algunos diseños conocidos se usan solo para vigilancia y monitorización, y no pueden interactuar directamente con otros objetos, a nivel físico. Dichos robots incluyen los llamados 'robots serpiente', que se mueven con un movimiento similar al de un pez o una anguila. Otros diseños conocidos incluyen planeadores que usan propulsión accionada por flotabilidad para mapeo y monitorización, ROV (vehículos operados a distancia) y AUV (vehículos autónomos subacuáticos) con manipuladores para la interacción física con otros objetos, tales como brazos robóticos que sostienen mecanismos de agarre y otras herramientas. El ROV o AUV debe proporcionar una base estable para soportar el brazo y, por lo tanto, dichos vehículos son relativamente grandes y engorrosos. Los planeadores tienen una precisión limitada cuando se trata de orientación, navegación y control, y solo pueden trabajar de manera efectiva mientras se ondulan hacia abajo o hacia arriba. Esto dificulta el uso de robots manipuladores subacuáticos cuando se requiere manipular un objeto en un espacio pequeño, o cuando el acceso al área de trabajo es estrecho.

El documento US 2009/248202 divulga un robot que comprende una estructura modular que presenta un tubo sensor flexible que conecta un punto de referencia en un barco con una mano y una cámara subacuática.

25 Salamandra Robotica II: An Amphibious Robot to Study Salamander-Like Swimming and Walking Gaits, Crespi *et al*, divulga un robot de natación con biomimética basado en una salamandra.

El documento US 2010/317244 divulga una oruga robótica anfibia para viajar a través del agua.

30 La invención se define por un robot serpiente subacuático de acuerdo con la reivindicación 1, un método para el control de un robot serpiente subacuático de acuerdo con la reivindicación 13 y un producto de programa de ordenador de acuerdo con la reivindicación 14.

35 Visto desde un primer aspecto, la invención proporciona un robot serpiente subacuático que comprende: una pluralidad de enlaces que están conectados entre sí mediante módulos de articulaciones para generar un movimiento de flexión del robot, en donde los módulos de articulaciones accionan activamente el movimiento de los enlaces uno con respecto al otro y son activados por uno o más actuadores y el robot se flexiona en dos o más articulaciones para generar así un movimiento ondulante; múltiples dispositivos de empuje ubicados en diferentes puntos a lo largo de la longitud del robot para aplicar empuje al robot para propulsión subacuática y opcionalmente como guía; y una herramienta, o un punto de conexión para una herramienta, conectada al robot; en donde el movimiento de flexión y/o los dispositivos de empuje permiten el movimiento del robot y el control de la orientación y/o ubicación de la herramienta con algunos o todos los enlaces del robot que actúan como enlaces de un brazo manipulador.

45 Un módulo de articulaciones es cualquier mecanismo que permite la rotación y/o traslación relativa controlada entre dos elementos (denominados enlaces) alrededor de un solo eje o múltiples ejes de rotación. Los enlaces son elementos rígidos o flexibles, y normalmente proporcionan las conexiones físicas entre los módulos de articulaciones. Los enlaces y los módulos de articulaciones también pueden contener otros componentes o tener otras funciones. Por ejemplo, podrían incluir uno o más dispositivos de empuje o puntos de conexión para herramientas. En algunas realizaciones de ejemplo, algunos de los enlaces incluyen módulos de empuje como se discute más adelante, y los módulos de articulaciones pueden ser mecanismos articulados entre los enlaces. Los módulos de articulaciones pueden incluir partes móviles alojadas en un fuelle, por ejemplo, un fuelle lleno de aceite. El uso de fuelles llenos de aceite proporciona protección contra la entrada de agua y reduce el riesgo de enganche de las piezas mecánicas durante el uso.

55 El uso de los dispositivos de empuje para propulsión y/o guía abarca todos los usos deseables de las fuerzas de empuje en el robot. Esto puede incluir: movimiento rotacional y/o traslacional de todo el robot o de partes del robot; mantenimiento de la estación (por ejemplo, 'flotando'), con los empujadores actuando contra la gravedad, la flotabilidad y/o las corrientes de agua; cambios de rumbo durante el movimiento continuo; cambios en la configuración/forma del robot; y/o fuerzas de propulsión utilizadas para ayudar o amplificar los movimientos de flexión del robot; entre otras cosas.

65 La herramienta puede ser cualquier tipo de herramienta requerida para operaciones sumergidas, incluyendo todo tipo de herramientas de mapeo subacuático, monitorización e IMR, por ejemplo, herramientas de inspección, tal como una cámara, o herramientas de manipulación, tal como una herramienta de pinza. El robot del primer aspecto proporciona efectivamente un brazo manipulador sin el obstáculo de un ROV o AUV que lo sostiene. El robot puede

maniobrar a sí mismo a un sitio objetivo, que puede incluir viajar por tuberías, elevadores y a través de espacios estrechos, llevar a cabo el mantenimiento o flotación de la estación (también llamado posicionamiento dinámico), y luego puede usar la herramienta para realizar una operación requerida, con algunos o todos los enlaces del robot que actúan como enlaces de un brazo manipulador.

5 El movimiento de flexión puede ser un movimiento articulado con enlaces rígidos que giran y/o se trasladan uno con respecto al otro. También puede usar estructuras flexibles que se pueden mover en formas curvas. Por lo general, se puede usar un movimiento de flexión repetido si se requiere impulsar el robot usando el movimiento de las articulaciones. Los módulos de articulaciones actúan para generar el movimiento de flexión. Por lo tanto, los
10 módulos de articulaciones pueden accionar activamente el movimiento de los enlaces entre sí y pueden ser activados por uno o más actuadores como se menciona a continuación. Los actuadores pueden estar contenidos dentro de los enlaces o mantenerse entre los enlaces.

15 En algunos ejemplos preferidos, el movimiento de flexión del robot puede ser un movimiento ondulante capaz de impulsar el robot. Un ejemplo de un robot que puede realizar tal movimiento es un robot serpiente subacuático. Durante siglos, los ingenieros y científicos se han inspirado en el mundo natural en su búsqueda de soluciones a problemas técnicos. Este proceso se denomina biomimética. Los robots serpiente subacuático son una forma de robot que ha surgido de la biomimética. Este tipo de robots se han propuesto para su uso en exploración submarina, monitorización, vigilancia e inspección. Además, para la comunidad de ciencias oceánicas, que incluye
20 oceanografía, biología y arqueología marina, los robots serpiente que pueden nadar suavemente y sin mucho ruido, y que pueden navegar en entornos difíciles como naufragios de barcos y otros entornos confinados, son muy interesantes. Sin embargo, los robots serpiente y robots similares no se han propuesto antes para su uso como brazo manipulador como se describe en este documento.

25 El robot de brazo manipulador es un robot serpiente. En el contexto actual, un robot serpiente es cualquier tipo de robot multienlace diseñado para flexionarse en dos o más articulaciones, generalmente en un gran número de articulaciones, para generar un movimiento ondulante similar al movimiento de una serpiente o una anguila. Todo el robot puede ser flexible, o el robot puede tener secciones flexibles y secciones rígidas/fijas. También se puede lograr una combinación de secciones flexibles y fijas fijando/'congelando' los módulos de articulaciones a lo largo de parte
30 de la longitud de un robot totalmente flexible. Dichos robots con enlaces múltiples pueden designarse alternativamente como robots de anguila o robots de lamprea y la expresión "robot serpiente" está destinada a cubrir esto.

35 El robot puede adoptar alternativamente la forma de un robot pez. Los robots de peces generalmente tienen menos enlaces y no tienen una estructura de cuerpo alargado, que es una característica de un robot serpiente. El robot serpiente puede diferenciarse de los robots de peces en referencia a su forma alargada, por ejemplo, el robot serpiente puede tener una longitud que es al menos cinco veces su máximo o su ancho promedio, preferiblemente una longitud que es al menos diez veces su máximo o su ancho promedio. Actualmente se cree que un robot serpiente puede proporcionar ventajas adicionales debido a su mayor longitud y rango de movimiento, pero un robot
40 pez con las características del primer aspecto también proporcionaría mejoras en comparación con los robots subacuáticos conocidos.

45 El robot subacuático también debe distinguirse de los robots serpiente terrestres. Los robots serpiente terrestres son considerablemente diferentes, ya que dependen de la fricción entre el robot y el suelo, a menudo utilizando ruedas que giran libremente para evitar el deslizamiento lateral y/o reducir la fricción longitudinal, con el fin de mover el robot con un movimiento ondulante. Por el contrario, los robots subacuáticos pueden moverse hacia los lados y pueden presionar contra el fluido circundante con el movimiento del cuerpo y no dependen de la interacción con una superficie sólida mediante la fricción.

50 El robot comprende múltiples dispositivos de empuje montados en múltiples puntos diferentes a lo largo de la longitud del robot. Los dispositivos de empuje pueden incluir un dispositivo de empuje para aplicar empuje lateral y/o vertical, es decir, empuje en una dirección que se extiende a través del robot. Los dispositivos de empuje pueden incluir de manera alternativa o adicional un dispositivo de empuje para aplicar empuje longitudinal, es decir, empuje
55 en una dirección que se extiende a lo largo de la longitud del robot. Los dispositivos de empuje pueden montarse en cualquier orientación angular requerida. Se pueden montar para proporcionar empuje a lo largo de una línea que se cruza con un eje longitudinal del robot, o se pueden montar separados del eje longitudinal del robot con una dirección de empuje que no se cruza con el eje longitudinal del robot (al menos cuando el robot está en una configuración recta). Los dispositivos de empuje ubicados de esta manera se pueden usar para aplicar un torque al robot, incluido el torque en guiñada, cabeceo o balanceo dependiendo de la posición y orientación del empujador.

60 Los dispositivos de empuje pueden incluir impulsores, impelentes, empujadores de túnel, empujadores giratorios (azimutales), empujadores retráctiles, tornillos (simples, gemelos, contrarrotativos, de paso controlable, estilo de boquilla, etc.), aletas, bombas de vacío o empujadores y/o chorros de agua. Los dispositivos de empuje pueden proporcionar empuje con una dirección controlable y magnitud de empuje. En algunos ejemplos, uno o más
65 dispositivos de empuje controlables direccionalmente pueden ser orientados para proporcionar empuje longitudinal o empuje lateral. Además, las superficies de control como timones y aletas, veletas guía y/o la rotación relativa entre

los enlaces pueden contribuir al control de la dirección. Esto puede ser mientras el robot está siendo impulsado por un dispositivo de empuje y/o en la situación en la que el robot está siendo remolcado.

5 El robot también puede estar equipado con alas o aletas para producir elevación y/o puede tener una forma de cuerpo que pueda producir elevación. Por lo tanto, en algunos ejemplos, el robot incluye una o más aletas orientables. Dichas aletas o superficies de control pueden usarse para evitar o suprimir perturbaciones aleatorias de las corrientes oceánicas, la flotabilidad del cable no modelado, etc. Los dispositivos de empuje pueden usarse para el mismo propósito, en lugar de o en conjunción con las aletas orientables.

10 Los dispositivos de empuje pueden permitir ventajosamente que el robot mantenga una posición y/u orientación constante en el agua, incluso durante el movimiento de los enlaces articulados (que puede ser un movimiento ondulado). Por lo tanto, los dispositivos de empuje pueden estar dispuestos para proporcionar empuje para dar una capacidad de tipo flotante al robot.

15 Un ejemplo de un dispositivo de empuje para aplicar empuje lateral es un módulo de empuje con uno o más empujadores, el módulo de empuje está integrado con un módulo de articulaciones y/o un enlace o está montado hacia adelante o hacia atrás de un módulo de articulaciones y/o un enlace. Tal módulo de empuje puede, por ejemplo, incluir empujadores de túnel que usan impulsores o empujadores de chorro de agua. Un ejemplo utiliza un
20 módulo de empuje con empujadores orientados en dos direcciones perpendiculares, que pueden ser dos direcciones que generalmente son ortogonales a la extensión longitudinal del robot (o a una tangente a la extensión del robot cuando está en forma curva). Esto permite que el empuje se aplique en cualquier dirección lateral, tal como una dirección hacia arriba y hacia abajo, o una dirección lateral. Alternativamente, o además, puede haber uno o más
25 módulos de empuje con un empujador que se puede girar alrededor del eje del robot para aplicar el empuje en todas las direcciones laterales. La rotación de dicho empujador se puede lograr mediante el movimiento del empujador en relación con el módulo de empuje, o la rotación del módulo de empuje en relación con los módulos de articulaciones
30 adyacentes. Puede haber múltiples módulos de empuje a lo largo del robot. Esto permite que el empuje se aplique a diferentes partes del robot en diferentes direcciones, lo que significa que se pueden lograr todo tipo de movimientos, tal como un movimiento de traslación del robot, o una rotación en giro, inclinación o guiñada sin traslación, o combinaciones de estos movimientos. Las fuerzas de empuje lateral también se pueden utilizar para impulsar a los
35 módulos de articulaciones a nuevas posiciones/ángulos, por ejemplo, para ayudar a cambiar a una nueva forma/configuración del robot. Esto podría hacerse para aumentar la velocidad de transición, o para proporcionar movimiento entre enlaces en caso de que un módulo de articulaciones tenga una falla.

Un ejemplo de un dispositivo de empuje para aplicar un empuje longitudinal es un dispositivo de empuje de popa
40 montado en la popa del robot para aplicar un empuje al final del robot. Los dispositivos de empuje longitudinal podrían montarse de manera alternativa o adicional en cualquier punto a lo largo del robot o en la parte frontal del robot, y esto tiene la ventaja de dejar la popa del robot libre para montar una herramienta. Este dispositivo de empuje podría sobresalir en un ángulo constante del cuerpo de la serpiente, o podría cambiarse su dirección y también podría ser retráctil. Un dispositivo montado en popa permite que el empujador esté en línea con la longitud
45 del robot, en lugar de provocar una protrusión del robot en un lado, que de otro modo podría ser necesario para permitir el empuje en una dirección longitudinal. El empujador para aplicar el empuje longitudinal puede ser cualquier empujador adecuado, tal como un impulsor o un empujador de chorro de agua. Se puede usar un dispositivo de empuje capaz de proporcionar empuje lateral para ajustar la posición vertical del robot y/o para ajustar su orientación en un plano vertical aplicando empuje lejos del centro de masa del robot. Sin embargo, en el caso probable de que el robot no tenga una flotabilidad neutra perfecta, se requerirá un empuje continuo para mantener una posición y/u
50 orientación vertical constante. Esto puede ser una desventaja en relación con el uso de potencia y, por lo tanto, es deseable evitar esto, especialmente cuando el robot es potenciado con batería.

Para abordar este problema, el robot puede estar provisto opcionalmente de elementos que tengan flotabilidad controlable. Por ejemplo, el robot puede incluir tanques de lastre que pueden llenarse con aire a presión o,
55 alternativamente, cualquier "vejiga" o fluido que pueda comprimirse o expandirse para cambiar su flotabilidad o peso. Un elemento con flotabilidad controlable puede proporcionar las fuerzas necesarias para mantener una posición vertical constante sin requerir consumo de energía, excepto durante el inflado o el desinflado. Además, como el robot tiene enlaces y módulos de articulaciones que permiten la flexión y los cambios en la forma/configuración, es posible usar las articulaciones para cambiar la posición relativa entre los elementos de flotabilidad y así manipular el centro de flotabilidad del robot. Por lo tanto, el movimiento a través de los módulos de articulaciones puede usarse para manipular cómo los elementos de flotabilidad afectan el movimiento del robot.

Una implementación preferida puede incluir tanto dispositivos de empuje para empuje vertical como también uno o
60 más elementos con flotabilidad controlable. Los dispositivos de empuje y los elementos de flotabilidad controlada pueden incorporarse en un solo módulo, de modo que un módulo de empuje como se describió anteriormente también puede tener una capacidad de flotabilidad controlada. Ventajosamente, la flotabilidad o el peso se pueden usar para proporcionar una fuerza vertical que varía lentamente para compensar el peso del robot y/o las corrientes verticales constantes, mientras que los dispositivos de empuje pueden proporcionar una fuerza correctiva rápida para compensar los cambios rápidos en fuerzas que afectan al robot, por ejemplo, cambios repentinos en las
65 corrientes o cambios que surgen de cambios en la forma del robot. Esta disposición puede hacer un uso efectivo de

los elementos de flotabilidad más eficientes energéticamente, al tiempo que permite un control preciso y rápido de la posición y orientación del robot. En un ejemplo preferido, la flotabilidad de los elementos de flotabilidad controlables puede controlarse localmente como la integral de tiempo (es decir, un controlador integral) del componente vertical de las entradas de control del empujador local, de modo que el empuje vertical promedio converja a cero en condiciones estacionarias. Por lo tanto, las fuerzas verticales de alta frecuencia son proporcionadas por los empujadores, mientras que el componente de baja frecuencia lo proporcionan los elementos de flotabilidad.

En los ejemplos preferidos, el robot comprende al menos tres enlaces unidos por módulos de articulaciones que permiten un movimiento articulado. Los enlaces pueden adoptar cualquier forma adecuada, y en particular pueden ser módulos de empuje, enlaces rígidos con aletas de guía o enlaces de acoplamiento rígidos sin función de empuje o guía. Puede haber al menos diez enlaces, por ejemplo, para que el robot tome la forma de un robot serpiente. Un robot típico de tipo serpiente puede tener entre tres y veinte módulos de articulaciones unidos de extremo a extremo, proporcionando cada articulación uno o más grados de libertad.

Los módulos de articulaciones pueden permitir una rotación relativa en un solo plano para proporcionar un movimiento bidimensional. Alternativamente, las articulaciones pueden permitir un movimiento dimensional más alto, por ejemplo permitiendo ondulaciones tanto horizontal como verticalmente. Cada uno de los módulos de articulaciones permite una rotación relativa en una o más de las direcciones de guiñada, cabeceo y balanceo del robot, opcionalmente rotación en las tres de guiñada, cabeceo y balanceo. La rotación relativa permite el control de la orientación y/o posición de la herramienta. Los módulos de articulaciones pueden incluir uno o más actuadores para impulsar el movimiento articulado, por ejemplo, actuadores eléctricos, neumáticos y/o hidráulicos. Los módulos de articulaciones también pueden permitir movimientos de traslación de los enlaces a ambos lados de la articulación.

La herramienta o el punto de conexión pueden estar unidos en cualquier punto conveniente del robot y, como se indicó anteriormente, puede ser cualquier tipo de herramienta, incluidas herramientas de inspección, herramientas de manipulación y otros tipos de herramientas IMR. Por lo tanto, la herramienta o el punto de conexión pueden estar en el extremo frontal del robot, en un módulo frontal; puede estar en un punto medio, integrado con uno de los enlaces rígidos a una longitud media del robot, por ejemplo; o puede estar en el extremo de popa del robot. Puede haber múltiples herramientas o puntos de conexión, por ejemplo, puede haber una herramienta o punto de conexión en el extremo frontal del robot, así como una herramienta o punto de conexión en el extremo de popa del robot. Un ejemplo incluye una herramienta o punto de conexión en el extremo frontal y en el extremo de popa, así como otra herramienta o punto de conexión en un punto medio de la longitud del robot. Se pueden usar múltiples disposiciones de herramientas como esta para permitir una herramienta de manipulación en un extremo del robot y una herramienta de inspección en el otro extremo del robot, permitiendo así que el robot monitoree la operación de la herramienta de manipulación utilizando la herramienta de inspección, que puede ser una cámara por ejemplo. Puede haber herramientas en ambos extremos del robot con una herramienta de inspección montada en un punto medio. Las herramientas en ambos extremos pueden ser herramientas de manipulación. Esto puede permitir operaciones complicadas "a dos manos" usando las herramientas en ambos extremos mientras se monitoriza las operaciones usando la herramienta de inspección en el punto medio. Una opción adicional es incluir herramientas de inspección con las herramientas de manipulación, tal como una cámara montada en el mismo módulo que una pinza. Cuando está presente un punto de conexión, puede haber una herramienta montada en él de manera liberable, preferiblemente usando un tipo de acoplamiento estandarizado. Ventajosamente, el punto de conexión puede disponerse para la conexión de tipos alternativos de herramientas, lo que puede permitir que un solo robot se ajuste con diferentes herramientas para diferentes operaciones submarinas.

En algunos ejemplos preferidos, el robot tiene una herramienta o un punto de conexión para una herramienta en un módulo frontal, de modo que la herramienta se encuentra en el extremo frontal del robot. Una herramienta montada en el extremo frontal puede tener un amplio rango de movimiento, especialmente cuando se combina con un dispositivo de empuje longitudinal como un dispositivo de empuje de popa y uno o más módulos de empuje para empuje lateral.

Con lo anterior en mente, se apreciará que una realización de ejemplo del robot puede comprender un robot serpiente que tiene un módulo frontal con una herramienta o un punto de conexión para una herramienta, un dispositivo de empuje para producir un empuje longitudinal, que puede ser un dispositivo de empuje de popa en el extremo opuesto del robot al módulo frontal, múltiples enlaces entre el extremo frontal y el extremo de popa, los enlaces acoplados por módulos de articulaciones y uno o más módulos de empuje a lo largo de la longitud del robot para producir un empuje lateral. Tal robot serpiente es capaz de realizar un amplio rango de movimientos y puede realizar un amplio rango de diferentes tipos de operaciones submarinas.

Otro ejemplo omite el dispositivo de empuje de popa y también puede omitir las capacidades de empuje longitudinal para centrarse en una mayor maniobrabilidad y realizar operaciones más complejas. Tal ejemplo puede comprender un robot serpiente que tiene un módulo frontal con una herramienta o un punto de conexión para una herramienta, un módulo de popa con otra herramienta o punto de conexión para una herramienta, múltiples enlaces entre el extremo frontal y el extremo de popa, los enlaces acoplados mediante módulos de articulaciones para generar movimiento de flexión, múltiples módulos de empuje a lo largo de la longitud del robot para producir empuje lateral; y una herramienta de inspección montada en un punto medio de la longitud del robot.

El movimiento ondulante del robot serpiente puede caracterizarse como un movimiento de tipo sinusoidal. Esto puede ser, por ejemplo, una ondulación lateral o un movimiento similar a una anguila. Este tipo de movimiento es diferente al movimiento de los robots de peces de enlace múltiple. En realizaciones de ejemplo, el movimiento del robot serpiente se genera haciendo que cada articulación i del robot serpiente subacuático con n módulos de articulación rastree una señal de referencia sinusoidal:

$$\phi_i^*(t) = \alpha g(i, n) \text{ seno}(\omega t + (i-1)\delta) + \gamma,$$

donde α y ω son la amplitud máxima y la frecuencia, respectivamente, δ determina el cambio de fase entre las articulaciones, mientras que la función $g(i, n)$ es una función de escala para la amplitud de la articulación i que permite describir una clase bastante general de funciones sinusoidales, incluidos varios patrones diferentes de movimiento de serpiente. El parámetro γ es una coordenada de compensación conjunta que se puede usar para controlar la dirección de la locomoción del robot serpiente. Preferiblemente, los parámetros α y δ son fijos y los parámetros ω y γ se varían para controlar la velocidad y la dirección, respectivamente, del robot serpiente. La ecuación anterior se puede emplear por separado para cada conjunto de articulaciones que tienen, para un robot recto, ejes de rotación paralelos. Por lo tanto, se puede usar un conjunto separado de parámetros en la ecuación anterior para las articulaciones que controlan, por ejemplo, el movimiento de guiñada y el movimiento de cabeceo, respectivamente.

El robot puede incluir un controlador de patrón de marcha para generar el movimiento ondulante del robot. El robot preferido puede incluir un dispositivo de control de orientación para ajustar la orientación a la orientación deseada. Así, por ejemplo, podría ser un dispositivo de control de rumbo para ajustar el rumbo para seguir la orientación deseada. Por lo tanto, este dispositivo proporcionaría ajustes en la dirección de guiñada. El robot puede incluir de manera alternativa o adicional un dispositivo de control de inclinación para permitir el ascenso y el descenso durante el movimiento hacia adelante. Los dispositivos de control de rumbo y/o cabeceo pueden actuar durante el movimiento ondulante, durante el movimiento impulsado por empuje, o tanto con ondulaciones como con empujadores que excitan el movimiento del robot. Los dispositivos de control de rumbo y/o cabeceo pueden controlar los empujadores, en particular los módulos de empuje, para así controlar el rumbo y/o cabeceo durante el movimiento hacia adelante. Alternativa o adicionalmente, los módulos de articulaciones se pueden usar para cambiar la forma del robot y, por lo tanto, proporcionar orientación a la dirección de las fuerzas del empujador, así como guiar el movimiento del robot a través de su forma cuando ya está en movimiento.

El robot puede tener un controlador de herramienta para controlar el movimiento de la herramienta, que por lo tanto puede ser un controlador para controlar la orientación y ubicación de la parte del robot donde está montada la herramienta, por ejemplo, el módulo frontal.

Los diversos controladores pueden ser módulos de control separados formados como hardware separado, o software separado en hardware común, o puede haber un sistema integrado que maneje todos los aspectos del control del robot.

El robot puede estar provisto de un dispositivo de fijación para unir el robot a otra estructura, por ejemplo para asegurar el robot en su lugar en la otra estructura. Esto podría hacerse mediante cualquier dispositivo adecuado, tal como un sujetador mecánico, un dispositivo magnético o un dispositivo de succión. Un ejemplo particular usa un dispositivo de succión que también proporciona una función de dispositivo de empuje. Tal dispositivo puede en un modo de uso generar una presión baja de agua entre sí mismo y una estructura fija para proporcionar así succión para asegurar el robot a la estructura, y en otro modo de uso puede proporcionar empuje impulsando agua hacia afuera desde un lado y arrastrando agua hacia adentro por el otro lado, como lo harían los dispositivos de empuje lateral de los ejemplos. Se puede proporcionar un dispositivo combinado de succión y empuje mediante la adición de una estructura de cubierta o veleta adecuada a un módulo de empuje.

El uso de un dispositivo combinado de succión y empuje para un vehículo subacuático se considera novedoso e inventivo por derecho propio y, por lo tanto, en un aspecto adicional, la invención proporciona un vehículo subacuático que comprende un dispositivo combinado de succión y empuje, en donde el dispositivo combinado de succión y empuje utiliza el mismo mecanismo de conducción para proporcionar un primer modo de operación donde se proporciona empuje para la propulsión y/o guía del vehículo y un segundo modo de operación donde se proporciona succión para sostener el vehículo contra otra estructura.

Este vehículo subacuático puede ser un robot tal como un robot serpiente y/o un robot de brazo manipulador. El robot puede tener cualquiera o todas las características descritas anteriormente. El dispositivo combinado de succión y empuje puede ser parte de un módulo de empuje como se discutió anteriormente, y puede incluir cualquiera o todas las características del dispositivo de empuje/módulo de empuje como se discutió anteriormente.

La invención proporciona además un método para el control de un robot de brazo manipulador subacuático como se describió anteriormente, el método comprende: controlar los módulos de articulaciones y los dispositivos de empuje

para mover las herramientas del robot en una orientación requerida y/o ubicación; en donde los módulos de articulaciones se usan para generar un movimiento de flexión que puede impulsar el robot y/o usarse para ajustar la forma y configuración del robot; y en donde los dispositivos de empuje se usan para mover el robot en traslación y/o rotación.

5 Opcionalmente, los módulos de articulaciones pueden usarse para ajustar la forma y la configuración del robot con el fin de controlar la dirección de las fuerzas del dispositivo de empuje, y/o generar un movimiento de flexión que pueda impulsar el robot, y/o mueva las herramientas del robot a la ubicación y/u orientación deseada.

10 El robot de este método puede tener cualquiera de las características discutidas anteriormente. El paso de control puede combinar ventajosamente el movimiento de flexión (que puede ser un movimiento ondulante como se discutió anteriormente) con el empuje de los dispositivos de empuje para proporcionar un movimiento que no es posible con un robot serpiente convencional o un ROV/AUV convencional.

15 El método puede incluir usar los módulos de articulaciones para mover el robot a una configuración requerida y luego usar los dispositivos de empuje para trasladar y/o rotar el robot en la configuración requerida para moverlo a una ubicación requerida. Por ejemplo, los módulos de articulaciones pueden colocar el robot en una determinada forma, tal como una forma de U, para una tarea determinada, y luego moverlo mediante los dispositivos de empuje a una ubicación relacionada con la tarea.

20 El robot de brazo manipulador subacuático puede incluir un dispositivo de empuje para proporcionar empuje longitudinal. En este caso, el método puede incluir el uso del empuje longitudinal para impulsar el robot y el uso de los módulos de articulaciones para ajustar la forma del robot y así controlar el rumbo del robot.

25 La ubicación relativa de los módulos de articulaciones y los dispositivos de empuje es conocida y/o puede calcularse, y además los ángulos de articulaciones son conocidos y/o pueden calcularse. El método para controlar el robot puede incluir determinar la orientación de todos los módulos de articulaciones y dispositivos de empuje, determinar un vector de empuje desde cada dispositivo de empuje en relación con el centro de masa del robot y así determinar las fuerzas de empuje requeridas y/o ajustar el módulo de articulaciones para lograr un cambio requerido en la orientación y/o ubicación del robot. Por ejemplo, si se requiere una rotación del robot con o sin traslación, el método puede determinar si existe una combinación de fuerzas de empuje de los dispositivos de empuje que proporcionará una fuerza de rotación que actúa alrededor del centro de masa junto con una fuerza adecuada sobre el centro de masa. La fuerza sobre el centro de masa puede ser cero en el caso de que no se requiera traslación, es decir, que la suma de fuerzas de todos los dispositivos de empuje sobre el centro de masa resulte en un momento sin fuerzas de traslación. Si existe tal combinación de fuerzas, entonces el método puede incluir controlar los dispositivos de empuje en consecuencia. Si no se puede encontrar una combinación de fuerzas, entonces el método puede incluir determinar un movimiento de un dispositivo de empuje de dirección controlable (si está presente) y/o un movimiento de uno o más módulos de articulaciones para proporcionar una nueva configuración temporal para el robot que permita a los dispositivos de empuje proporcionar fuerzas de una manera que pueda lograr la rotación y traslación requeridas.

45 El método puede incluir el uso de software de ordenador para determinar el movimiento requerido de los módulos de articulaciones y el empuje requerido desde los dispositivos de empuje. Visto desde otro aspecto, la invención proporciona un producto de programa de ordenador que comprende instrucciones que, cuando se ejecutan en un dispositivo de procesamiento de datos, configuran el dispositivo de procesamiento de datos para controlar un robot de brazo manipulador subacuático como se describió anteriormente por medio de un método como se describió anteriormente. Por lo tanto, el producto de programa de ordenador puede configurar el dispositivo de procesamiento de datos para controlar los módulos de articulaciones y los dispositivos de empuje para mover el robot a una orientación y/o ubicación requerida; con los módulos de articulaciones que se usan para generar un movimiento de flexión que puede impulsar el robot y/o que se usan para ajustar la forma y la configuración del robot; y los dispositivos de empuje que se utilizan para mover el robot en traslación y/o rotación. El producto de programa de ordenador puede configurar opcionalmente el aparato de procesamiento de datos para realizar los otros pasos del método discutidos anteriormente en relación con el método de la invención.

55 Algunas realizaciones preferidas de la invención se describirán ahora solo a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La figura 1 muestra varias vistas de un robot serpiente con módulos de articulaciones, aletas y módulos de empujadores;

60 La figura 2 ilustra un grupo de robots serpiente que se impulsan hacia una instalación submarina mediante el uso de módulos de impulsor de popa;

65 La figura 3 muestra un robot serpiente envuelto alrededor de una estructura en una instalación submarina para llevar a cabo una tarea de inspección;

La figura 4 muestra un robot serpiente de natación con una herramienta de pinza que realiza una tarea de manipulación en una instalación submarina;

5 La figura 5 muestra un robot serpiente con herramientas tanto en el extremo frontal como en el extremo posterior, estando el robot serpiente en una configuración de manipulación;

La figura 6 muestra el robot serpiente de la figura 5 en una configuración de transporte;

10 Las figuras 7 y 8 muestran dos configuraciones de otro robot serpiente con herramientas tanto en el extremo frontal como en el posterior; y

Las figuras 9 y 10 muestran otro ejemplo en el que el robot serpiente tiene empujadores longitudinales en un punto medio del robot y herramientas en ambos extremos.

15 Como se muestra en las figuras, un robot serpiente de natación propuesto que incorpora uno o más dispositivos de empuje puede tener una mayor funcionalidad. Un robot serpiente de natación, cuya estructura articulada se compone de módulos de articulaciones conectados en serie, se puede combinar con módulos de empuje para mejorar las capacidades de movimiento del robot. Los robots serpiente conocidos que consisten solo en módulos de articulaciones pueden nadar como una anguila biológica. Sin embargo, cuando el robot se enrolla alrededor de tuberías y otras estructuras o está dentro de ubicaciones estrechas de instalaciones submarinas, las capacidades de movimiento del robot generalmente se reducirán ya que el movimiento de ondulación requerido para impulsar el robot en la dirección deseada estará limitado por el entorno de la estructura de instalación submarina. Al combinar la estructura articulada del robot con empujadores que pueden inducir fuerzas lineales sobre el robot a lo largo de su cuerpo, las capacidades de movimiento del robot en ubicaciones estrechas se mejoran significativamente. Además, el uso de un módulo impulsor de popa como uno de los dispositivos de empuje permite un movimiento lineal más rápido del robot serpiente.

30 Un robot articulado con empujadores será esencialmente un ROV articulado (vehículo operado remotamente) cuando el robot está atado o un AUV articulado (vehículo autónomo subacuático) cuando no hay una atadura externa. Los ROV y AUV son herramientas de uso común para las operaciones submarinas en la actualidad. Sin embargo, los ROV y AUV conocidos son estructuras rígidas que consisten en un gran cuerpo principal equipado con uno o varios brazos manipuladores más pequeños. El concepto descrito en este documento elimina el gran cuerpo principal del ROV/AUV y permite que el brazo manipulador mismo realice tanto la propulsión como la manipulación, ya que el cuerpo del robot serpiente se convierte efectivamente en el brazo manipulador.

35 Las características principales se pueden ver fácilmente en la figura 1, que muestra tres vistas diferentes de un robot serpiente con módulos 2 de articulaciones, aletas 4 y módulos 6 de empujador. Los módulos 6 de empujador ejemplificados, que están ubicados en diversos puntos a lo largo de la longitud del robot serpiente, se basan en impulsores y toman la forma de empujadores 6 de túnel. También se podrían utilizar otros tipos de empujadores, tales como los chorros de agua. Además, otro dispositivo de empuje está presente en forma de un dispositivo 8 de empuje de popa, que en este ejemplo es un módulo 8 impulsor de popa. Nuevamente, esto podría ser sustituido por otros tipos de empujadores. El dispositivo 8 de empuje de popa permite el movimiento lineal del robot cuando las articulaciones del robot serpiente están alineadas, además de proporcionar capacidades adicionales para maniobrar y aplicar fuerza con las articulaciones del robot serpiente en una configuración curva.

45 El módulo 10 frontal del robot puede tener una herramienta conectada. Por lo tanto, el módulo 10 frontal está dispuesto para la fijación de una o más herramientas, y se pueden proporcionar diferentes tipos de herramientas en diferentes diseños de robot serpiente. Alternativamente, puede haber un punto de conexión en el módulo 10 frontal dispuesto para la conexión a un punto de conexión correspondiente en varios tipos diferentes de herramientas, permitiendo así que se use un único robot serpiente para múltiples propósitos seleccionando y conectando la herramienta requerida. Por ejemplo, puede haber una herramienta 12 de inspección, tal como una cámara u otro sensor como en la figura 1 y la figura 3. Alternativamente, puede haber una herramienta 14 de manipulación, como se muestra en la figura 4.

55 La figura 2 muestra el uso del dispositivo 8 de empuje de popa para impulsar robots serpiente linealmente hacia una instalación submarina. Los robots pueden usar su estructura articulada (es decir, los módulos 2 de articulaciones) para nadar como una anguila subacuática y/o para control direccional, actuando como un timón o veletas guía junto con el empuje aplicado por el dispositivo 8 de empuje de popa y/o el módulo 6 empujador. Las aletas 4 ayudan a guiar el movimiento del robot. Para el movimiento a grandes distancias, se considera más eficiente la energía para enderezar el cuerpo del robot como un torpedo y moverlo a través del agua haciendo funcionar la unidad 8 de empuje en la parte posterior del robot. Los módulos 6 empujadores y/o la estructura articulada pueden usarse para control direccional. Por lo tanto, el robot serpiente con empujadores tiene las mismas habilidades que un robot serpiente tradicional en relación con el movimiento, además de tener habilidades adicionales para viajes eficientes de larga distancia, un mayor rango de velocidades de viaje, así como un mayor control sobre la forma y la posición del robot.

Una capacidad adicional del robot serpiente propuesto se ilustra en la figura 3. El robot serpiente tiene un extremo envuelto alrededor de una estructura en una instalación submarina para llevar a cabo una tarea de inspección utilizando una herramienta 12 de inspección en el módulo 10 frontal del robot. Los empujadores 6 de túnel a lo largo del cuerpo aumentan la movilidad del robot y le permiten realizar desplazamientos lineales en todas las direcciones aunque un extremo del cuerpo esté curvado alrededor de una estructura. Esto no es posible con un robot serpiente tradicional. El dispositivo 8 de empuje de popa también proporciona capacidades de movimiento adicionales.

Las figuras 5 a 8 muestran ejemplos adicionales en los que se omite el dispositivo 8 de empuje de popa y, en cambio, el robot serpiente tiene múltiples herramientas en ambos extremos, que en estos ejemplos son una herramienta 14 de manipulación y cámaras/sensores 16. Por lo tanto, el robot serpiente puede ser 'doble terminado' con una herramienta 14 en el módulo 10 frontal y en la popa del robot, y una secuencia de enlaces con módulos 2 de articulaciones y módulos 6 de empuje que se extienden entre los dos extremos del robot serpiente. Además del par de herramientas 14 de manipulación, también hay una herramienta 12 de inspección en forma de cámara 12 en el punto medio de la longitud del robot. Esto permite monitorizar la operación de las dos herramientas 14 de manipulación cuando el robot adopta una configuración adecuada, como en la figura 5 y la figura 7, por ejemplo. En esta configuración, los módulos 2 de articulaciones en las partes centrales del robot pueden mantenerse rígidamente, evitando el movimiento, con los módulos 6 de empuje utilizados para contrarrestar el movimiento de deriva de las corrientes oceánicas. Los módulos 2 de articulaciones en los extremos del robot pueden usarse para dirigir el movimiento de las herramientas 14 de manipulación.

Los robots serpiente de las figuras 5 a 8 no tienen empujadores longitudinales. Si se requiere que estos robots serpiente se muevan a grandes distancias, entonces puede ser remolcado. Para permitir un fácil transporte remolcado, el robot serpiente puede asumir una configuración de transporte similar a la de los robots serpiente con empujadores de popa discutidos anteriormente, es decir, una forma de torpedo recto como en la figura 6. El robot serpiente podría contar alternativamente o adicionalmente con empujadores longitudinales montados en cualquier punto a lo largo del robot. Estos podrían sobresalir hacia afuera de los módulos 6 de empuje, o los módulos 6 de empuje podrían estar provistos de directores de empuje tales como veletas o boquillas para redirigir el empuje a lo largo de la dirección longitudinal del robot. El ejemplo de las figuras 9 y 10, descrito a continuación, incluye empujadores longitudinales en un punto medio del robot, y se apreciará que podrían utilizarse empujadores similares en cualquiera de los otros ejemplos.

En el robot de las figuras 5 y 6, el robot está equipado con sensores 16 en los módulos frontal y posterior. Los sensores 16 pueden ser cámaras, por ejemplo. Estos pueden proporcionar información durante el transporte, y también proporcionar información adicional relacionada con la operación de las herramientas 14 de manipulación, tal como una vista de primer plano.

A modo de ejemplo, la figura 8 muestra una configuración adicional para los robots serpiente. Con esta configuración, uno de los módulos de empuje está orientado para proporcionar empuje a lo largo de la dirección longitudinal de la mayor parte del robot. Esto puede proporcionar más flexibilidad cuando se requiere que el robot mantenga una posición relativa a una estructura fija, por ejemplo, para que una de las herramientas 14 de manipulación pueda trabajar en una parte de la estructura fija. Se entenderá que el robot tiene un alto grado de libertad y, por lo tanto, puede asumir cualquier posición que se pueda lograr mediante la rotación de los módulos 6 de articulaciones, teniendo en cuenta que potencialmente pueden rotar en todas las direcciones de cabeceo, guiñada y balanceo.

En otro ejemplo, como se muestra en las figuras 9 y 10, el robot tiene una herramienta 14 de manipulación en el módulo frontal, junto con sensores/cámaras 16, con una herramienta 12 de inspección en la popa. Los módulos 6 de empuje y los módulos 2 de articulaciones se usan para permitir que el robot genere un movimiento ondulante y asuma diversas configuraciones como con los otros ejemplos. Para permitir la propulsión en la traslación a través del empuje longitudinal, este ejemplo tiene empujadores 18 longitudinales montados lateralmente en un punto medio del robot. Dichos empujadores 18 montados lateralmente pueden proporcionar un empuje longitudinal de la misma manera que el empujador 8 de popa discutido anteriormente.

Se apreciará que el robot serpiente es en sí mismo un brazo manipulador y, por lo tanto, puede realizar tareas similares a las realizadas por un brazo manipulador montado en un ROV o AUV de la técnica anterior, pero sin la mayor parte del ROV o AUV. El robot se puede utilizar para llevar a cabo tareas de manipulación montando una herramienta 14 de manipulación en algún lugar del robot, por ejemplo, una herramienta 14 de pinza en el módulo 10 frontal y/o en la popa como en las figuras 4 a 10. Se verá que la combinación de características en el robot serpiente propuesto le permite mantener una posición fija (flotar en el agua) usando los empujadores 6, o asegurarse mecánicamente en una posición fija. Esto puede hacerse envolviendo parte de la longitud del robot alrededor de una estructura fija como en la figura 4, mediante el uso de una segunda herramienta o mediante enlaces de conexión especializados o dispositivos de conexión. El uso de un mecanismo de fijación no se muestra en las figuras, pero se apreciará que podría agregarse a los ejemplos mostrados en las figuras. Puede, por ejemplo, tomar la forma de un sujetador mecánico, un dispositivo magnético o un dispositivo de succión, por lo que el robot puede asegurarse a partes de una estructura submarina sin la necesidad de envolver una longitud del robot alrededor de la estructura. Se puede usar cualquier método de fijación adecuado. Un ejemplo particular usa un dispositivo de succión que

también proporciona una función de dispositivo de empuje. Tal dispositivo puede en un modo de uso generar una presión de agua baja entre sí mismo y una estructura fija para proporcionar así succión para asegurar el robot a la estructura, y en otro modo de uso puede proporcionar empuje impulsando agua hacia afuera desde un lado y arrastrando agua hacia adentro por el otro lado, como lo harían los dispositivos de empuje lateral de los ejemplos.
 5 Se puede proporcionar un dispositivo combinado de succión y empuje mediante la adición de una estructura de cubierta o veleta adecuada a un módulo 6 de empuje.

El robot también se puede asegurar a una estructura submarina por medio de dispositivos especiales preinstalados a la estructura. Dichos dispositivos en la estructura pueden formar todo o parte de los medios de fijación. Por
 10 ejemplo, un dispositivo de gancho en la estructura podría cooperar con un sujetador en el robot. Otra posibilidad es que el dispositivo en la estructura submarina tome una parte activa en la sujeción del robot, tal como un dispositivo sujetador en la estructura submarina y esté dispuesto para engancharse o enganchar parte del robot.

Esto puede dejar más enlaces del robot libres para su uso como brazo manipulador para la herramienta. El robot
 15 puede actuar como un brazo manipulador con un alto grado de libertad de movimiento y la capacidad de aplicar fuerza usando la herramienta 14 de manipulación, ya que tanto los módulos 4 de articulaciones como los módulos 6 de empuje pueden usarse para mover y sostener la herramienta 14 de manipulación.

Por supuesto, se entenderá que una herramienta 12 de inspección, o una herramienta 14 de manipulación, o
 20 cualquier otro tipo de herramienta, podría montarse en cualquier punto a lo largo del robot y no solo en el módulo 10 frontal o en la popa, aunque se anticipa que el montaje de una herramienta en el módulo 10 frontal o en la popa será lo más útil, ya que permite el mayor rango de movimiento y reduce el riesgo de obstrucción de la operación de la herramienta por el cuerpo del robot serpiente.

Los entornos en los que las tareas de manipulación de tales estructuras articuladas son relevantes incluyen
 25 ubicaciones estrechas dentro de instalaciones submarinas de petróleo y gas. Los ejemplos de tareas de manipulación incluyen:

- Abrir y cerrar válvulas utilizando una pinza en la parte frontal del robot serpiente para agarrar y girar el asa de
 30 una válvula.
- Usar una herramienta de pinza montada en la parte frontal del robot para, por ejemplo:
 - Guiar un cabrestante de cable alrededor/a través de un módulo submarino que se elevará a la superficie (por
 35 ejemplo, para reemplazar el módulo).
 - Insertar y eliminar entubados calientes
 - Conectar/desconectar conectores (por ejemplo, eléctricos/ópticos).
 - Buscar, agarrar y recuperar objetos perdidos en la plantilla submarina durante las operaciones de ROV.
 40
 - Encadenar conexión y desconexión.
- Usar una herramienta de corte hidráulica montada en la cabeza del robot para cortar una pieza de una tubería de
 45 proceso junto con el reemplazo de una sección de proceso submarino.
- Limpiar la superficie de una instalación subacuática (es decir, eliminar material biológico) utilizando una
 50 herramienta de cepillo o una boquilla de chorro de agua a alta presión montada en la parte frontal del robot.
- Medir la vibración de una estructura bajo el agua presionando una herramienta de sensor de vibración contra la
 estructura.
- Medir la integridad de una estructura bajo el agua presionando un sensor de medición contra la estructura. Esto
 55 incluye medir la integridad de la corrosión presionando un sensor de detección de corrosión como una sonda CP contra la estructura.
- Usar una herramienta de corte montada en la parte frontal del robot para cortar el alambre guía.
- Usar herramientas de soldadura para reparar la estructura submarina.
 60
- Usar herramientas para tareas de conexiones mecánicas, por ejemplo, enchufar y desenchufar.
- Usar la pinza o una herramienta similar para agarrar el asa de un panel ROV o una guía para el acoplamiento.

- Operación de la válvula con una herramienta hidráulica de torque o entubamiento hidráulica.
 - Sujetar un sensor a una tubería de proceso para medir el grosor de la pared y otros parámetros condicionales.
 - Inspeccionar el elevador: el robot serpiente puede enrollarse alrededor del elevador y luego enrollarse a lo largo del elevador, o impulsarse a lo largo del elevador, con sensores montados a lo largo del cuerpo del robot en contacto con el elevador, y habilitar los datos del sensor de alrededor y a lo largo de todo el elevador en una sola operación.
- Ejemplos de tareas de inspección sin contacto (es decir, tareas que no requieren intervención física con equipo submarino) incluyen el uso de una cámara montada, por ejemplo, en la cabeza del robot para:
- Apoyar las operaciones de ROV con retroalimentación visual para ayudar a los operadores de ROV a controlar las operaciones de ROV. Un robot serpiente podría potencialmente proporcionar vídeos desde ángulos de cámara que no son accesibles para los ROV convencionales.
 - Verificar los indicadores durante las operaciones de ROV, por ejemplo, confirmando que un ROV tiene un equipo suficientemente asegurado durante la instalación.
 - Verificar si hay fugas utilizando una herramienta de rastreo.
 - Verificar si hay fugas/burbujas con un sensor de sonido.
 - Realizar una inspección general: inspeccione los *Árboles de navidad*, los colectores y las estructuras de protección y otras estructuras de plantillas submarinas. El robot serpiente propuesto proporcionará acceso a ubicaciones estrechas dentro de la plantilla submarina y posiblemente dentro de árboles de Navidad y colectores.

Como el robot serpiente es una estructura altamente articulada con muchos grados de libertad, se pueden distribuir diferentes funciones a lo largo del cuerpo de la serpiente. Esto es relevante, por ejemplo, durante las tareas de inspección o manipulación cuando un sensor o herramienta frente al robot debe mantener una orientación fija durante el movimiento o seguir una trayectoria específica. En este caso, los módulos posteriores del robot pueden encargarse de la propulsión del robot (mediante el movimiento ondulatorio de natación y/o utilizando los empujadores); mientras que las articulaciones en el frente pueden asegurar que el sensor o la herramienta tengan la orientación deseada o se muevan a lo largo de la trayectoria deseada.

Para el movimiento de la serpiente de natación sin el uso de empujadores, los algoritmos de control para las articulaciones del robot serpiente pueden basarse en gran medida en las estrategias de control existentes y publicadas en la literatura del robot serpiente, aunque, por supuesto, se desarrollarán algoritmos refinados y especializados. Cuando se agregan dispositivos de empuje, existen dos fuentes principales de fuerzas de propulsión. En particular, se inducen fuerzas de propulsión en el robot cuando realiza un movimiento ondulatorio con su cuerpo, es decir, cuando realiza un movimiento de onda corporal para nadar como una serpiente subacuática. Además, las fuerzas de propulsión son inducidas por los empujadores montados a lo largo del cuerpo. Para los empujadores basados en impulsores, se crearán fuerzas lineales en la dirección paralela al eje de rotación del impulsor. Por ejemplo, la unidad de impulsor de popa que se muestra en la figura 1 inducirá fuerzas paralelas a la sección de cola de la serpiente, mientras que los empujadores del túnel crearán fuerzas normales para el cuerpo. La unidad del empujador de popa se puede usar típicamente para impulsar el robot a distancias más grandes, mientras que los empujadores de túnel se pueden usar para realizar pequeños desplazamientos laterales o verticales del robot.

Las estrategias de control para los dispositivos de empuje, utilizados solos o en combinación con el movimiento ondulante del robot serpiente, pueden derivarse con base en las características conocidas de las unidades de empuje existentes y los robots subacuáticos con dispositivos de empuje y con base en las características conocidas de los robots serpiente ondulados existentes. Para los ROV convencionales y también los buques de superficie con múltiples empujadores, la estrategia de asignación para cada empujador en relación con el movimiento deseado del vehículo representa un problema fundamental de control. Existe una extensa literatura sobre estrategias de asignación de empujadores para ROV, AUV y buques de superficie (es decir, cuerpos rígidos con empujadores). Para el robot de brazo manipulador, donde los empujadores se montan a lo largo de una estructura altamente articulada, el problema de asignación del empujador adquiere una nueva dimensión, ya que la posición relativa entre los empujadores se puede cambiar por los ángulos de las articulaciones a lo largo del cuerpo del robot. Por lo tanto, el uso óptimo de cada empujador para una forma particular del cuerpo del robot serpiente cambiará generalmente cuando el robot alcance una nueva forma corporal. El robot tiene un sistema de control para controlar los módulos de articulaciones y los dispositivos de empuje con el fin de mover el robot a una orientación y/o ubicación requerida. Los módulos de articulaciones se usan para generar un movimiento de flexión que puede impulsar el robot y/o para ajustar la forma y la configuración del robot. Los dispositivos de empuje se utilizan para mover el robot en traslación y/o rotación.

5 El sistema de control está dispuesto para combinar el movimiento de ondulación de flexión del robot serpiente con el empuje de los dispositivos de empuje para proporcionar un movimiento que no es posible con un robot serpiente convencional o un ROV/AUV convencional. El sistema de control puede usar los módulos de articulaciones para mover el robot a una configuración requerida y luego usar los dispositivos de empuje para trasladar y/o rotar el robot en la configuración requerida para moverlo a una ubicación requerida.

10 La ubicación relativa de los módulos de articulaciones y los dispositivos de empuje es conocida y/o puede calcularse, y además los ángulos de articulaciones son conocidos y/o pueden calcularse. Por lo tanto, el sistema de control puede determinar fácilmente la orientación de todos los módulos de articulaciones y dispositivos de empuje, y determinar un vector para el empuje de cada dispositivo de empuje en relación con el centro de masa del robot. Esto permite que el sistema de control calcule las fuerzas de empuje requeridas y/o los ajustes del módulo de articulaciones para lograr un cambio requerido en la orientación y/o ubicación del robot.

15 Cuando el robot de brazo manipulador subacuático incluye un dispositivo de empuje para proporcionar empuje longitudinal, como en las figuras 1 a 4, por ejemplo, entonces el sistema de control puede usar el empuje longitudinal para impulsar el robot y usar el ajuste de los módulos de articulaciones para ajustar la forma del robot y así controlar la orientación del robot.

20 El robot puede ser potenciado por una fuente de potencia a bordo, tal como una batería. Esto se considera suficiente para operaciones de corta duración y para operaciones de inspección o intervenciones ligeras. Para operaciones de mayor duración u operaciones más pesadas, se puede requerir una fuente de potencia externa. Hay varias opciones para esto. El robot puede acoplarse a una estación de potencia submarina para recargar baterías o recargar otra fuente de potencia a bordo. El robot y/o la herramienta pueden estar atados. Una atadura podría estar unida permanentemente o temporalmente, tal como durante los momentos de alto consumo de potencia en una operación submarina. Se puede proporcionar una atadura en una plantilla submarina, un ROV/AUV cercano o un sistema de gestión de la atadura, que podría estar acoplado a un recipiente de soporte superior. La energía proporcionada en la atadura también se puede utilizar para operar herramientas de trabajo pesado. Una atadura podría proporcionar potencia de diversas maneras, por ejemplo, eléctrica/hidráulica/neumática, etc.

30 El robot podría llevar la herramienta a la ubicación para la operación submarina y luego conectarla a una atadura después de llegar a la plantilla submarina. Alternativamente, la herramienta puede ser traída por un ROV o como parte de un sistema de gestión de ataduras (TMS), o la herramienta puede ser parte de una caja de herramientas ubicada permanentemente en una plantilla submarina y posiblemente conectada permanentemente a ella.

35 El robot podría disponerse para la conexión a otro robot similar, y esto podría usar el mismo dispositivo de acoplamiento que se usa para conectar una herramienta. Varios robots unidos podrían proporcionar ahorros de energía, por ejemplo, mediante el uso de un empujador común, bajo transporte, y luego esta serpiente más grande podría dividirse en un conjunto de pequeños para la tarea de intervención real. Se puede preferir un robot serpiente más largo para algunas operaciones, y un robot serpiente más pequeño para otras operaciones.

40 La conexión del robot a la herramienta puede ser cualquier dispositivo de montaje adecuado, tal como un dispositivo mecánico o un dispositivo electromecánico. Además de soportar la herramienta en el robot, la conexión también puede proporcionar un acoplamiento para la potencia, por ejemplo, potencia eléctrica, hidráulica o neumática, para permitir que el robot, o una atadura unida al robot, suministre potencia a la herramienta.

45 El robot puede estar provisto de elementos que tengan flotabilidad controlable. Por ejemplo, el robot puede incluir tanques de lastre que se pueden llenar con aire a presión o, alternativamente, cualquier "vejiga" que se puede comprimirse o expandirse para cambiar su flotabilidad. Un elemento con flotabilidad controlable puede proporcionar las fuerzas necesarias para mantener una posición vertical constante sin requerir consumo de energía, excepto durante el inflado o el desinflado. Los elementos de flotabilidad controlada pueden incorporarse en los módulos 6 de empuje lateral. Ventajosamente, la flotabilidad puede usarse para proporcionar una fuerza vertical que varía lentamente para compensar el peso del robot y/o las corrientes verticales constantes, mientras que los dispositivos de empuje pueden proporcionar una fuerza correctiva rápida para compensar los cambios rápidos en las fuerzas que afectan al robot, por ejemplo, cambios repentinos en las corrientes o cambios que surgen de los cambios en la forma del robot. Para hacer esto, la flotabilidad de los elementos de flotabilidad controlable puede controlarse localmente como la integral de tiempo (es decir, un controlador integral) del componente vertical de las entradas de control del empujador local, de modo que el empuje vertical promedio converja a cero en condiciones estacionarias. Los elementos de flotabilidad controlable pueden emplearse para proporcionar flotabilidad positiva o negativa que, cuando se combina con cualquiera de los métodos antes mencionados para el control de dirección, permite que el robot se impulse hacia arriba y hacia abajo. Esto permite una propulsión muy eficiente energéticamente en distancias significativas.

65 Además de las ventajas mencionadas anteriormente, existen ventajas adicionales que surgen de la forma y el tamaño del robot serpiente en comparación con los ROV y AUV tradicionales. El robot serpiente puede acercarse a un sitio objetivo a través de una ruta restringida, por ejemplo a lo largo de una tubería o a través de una instalación

compleja, de una manera que no es posible con los ROV y AUV existentes debido a su tamaño. Además, cuando el sitio objetivo está dentro de un espacio confinado o de difícil acceso, una vez más, el robot serpiente propuesto ofrece ventajas. Esto significa que las operaciones pueden llevarse a cabo en espacios a los que no pueden acceder los brazos manipuladores tradicionales fijados a los ROV y AUV y también que las operaciones pueden llevarse a cabo con un grado reducido de desmantelamiento de las estructuras circundantes.

5

REIVINDICACIONES

1. Un robot serpiente subacuático que comprende:

5 una pluralidad de enlaces que están conectados entre sí mediante módulos (2) de articulaciones para generar un movimiento de flexión del robot, en donde los módulos de articulaciones accionan activamente el movimiento de los enlaces entre sí y son activados por uno o más actuadores y el robot se flexiona en dos o más articulaciones para generar un movimiento ondulante;

10 múltiples dispositivos (6, 8, 18) de empuje ubicados en diferentes puntos a lo largo de la longitud del robot para aplicar empuje al robot para propulsión subacuática y opcionalmente como guía; y

al menos una herramienta (12, 14, 16), o al menos un punto de conexión para una herramienta, unida al robot;

15 en donde el movimiento de flexión y/o los dispositivos de empuje permiten el movimiento del robot y el control de la orientación y/o ubicación de la herramienta con algunos o todos los enlaces del robot que actúan como enlaces de un brazo manipulador.

20 2. Un robot serpiente subacuático como se reivindica en la reivindicación 1, en donde los dispositivos (6, 8, 18) de empuje comprenden un dispositivo de empuje para aplicar empuje lateral y/o un dispositivo de empuje para aplicar empuje longitudinal, opcionalmente un dispositivo de empuje con una dirección controlable de empuje.

25 3. Un robot serpiente subacuático como se reivindica en la reivindicación 2 que comprende un dispositivo (6, 8, 18) de empuje para aplicar empuje lateral, siendo este dispositivo de empuje un módulo de empuje con uno o más empujadores.

30 4. Un robot serpiente subacuático como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el movimiento de flexión generado por los módulos (2) de articulaciones es un movimiento ondulante capaz de impulsar el robot.

5. Un robot serpiente subacuático como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el robot comprende al menos tres enlaces unidos por módulos (2) de articulaciones que permiten el movimiento articulado.

35 6. Un robot serpiente subacuático como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los módulos (2) de articulaciones permiten cada uno una rotación relativa en uno o más planos, tal como en las direcciones de guiñada, inclinación y balanceo del robot.

40 7. Un robot serpiente subacuático como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende uno o más elementos de flotabilidad para aumentar y/o disminuir la flotabilidad del robot.

45 8. Un robot serpiente subacuático como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el robot incluye una herramienta (12, 14, 16) o un punto de conexión para una herramienta en el extremo frontal del robot, en un módulo (10) frontal, de modo que la herramienta está, en uso, ubicada en el extremo frontal del robot.

9. Un robot serpiente subacuático como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende múltiples herramientas (12, 14, 16) y/o puntos de conexión.

50 10. Un robot serpiente subacuático como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una herramienta de inspección, por ejemplo, una cámara (16) y/o una herramienta (14) de manipulación.

55 11. Un robot serpiente subacuático como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un dispositivo (6, 8, 18) combinado de succión y empuje, en donde el dispositivo combinado de succión y empuje utiliza el mismo mecanismo de accionamiento para proporcionar tanto un primer modo de operación donde se proporciona empuje para la propulsión y/o guía del robot y un segundo modo de operación donde se proporciona succión para sostener el robot contra otra estructura.

60 12. Un robot serpiente subacuático como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el robot comprende un módulo (10) frontal con la herramienta (12, 14, 16) o el punto de conexión para una herramienta, un dispositivo de empuje de popa en el extremo opuesto del robot al módulo frontal, múltiples enlaces entre el extremo frontal y el extremo de popa, los enlaces acoplados por módulos (2) de articulaciones y uno o más módulos de empuje a lo largo de la longitud del robot para producir empuje lateral.

65 13. Un método para el control de un robot serpiente subacuático como se reivindica en cualquier reivindicación precedente, el método comprende: controlar los módulos (2) de articulaciones y los dispositivos (6, 8, 18) de empuje para mover el robot a la orientación requerida y/o ubicación; en donde los módulos de articulaciones se usan para

generar un movimiento de flexión que puede impulsar el robot y/o usarse para ajustar la forma y configuración del robot; y en donde los dispositivos de empuje se usan para mover todo o partes del robot en traslación y/o rotación.

- 5 14. Un producto de programa de ordenador que comprende instrucciones que, cuando se ejecutan en un dispositivo de procesamiento de datos, configuran el dispositivo de procesamiento de datos para controlar un robot serpiente subacuático reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12 mediante un método tal como se reivindica en la reivindicación 13.

Fig. 1

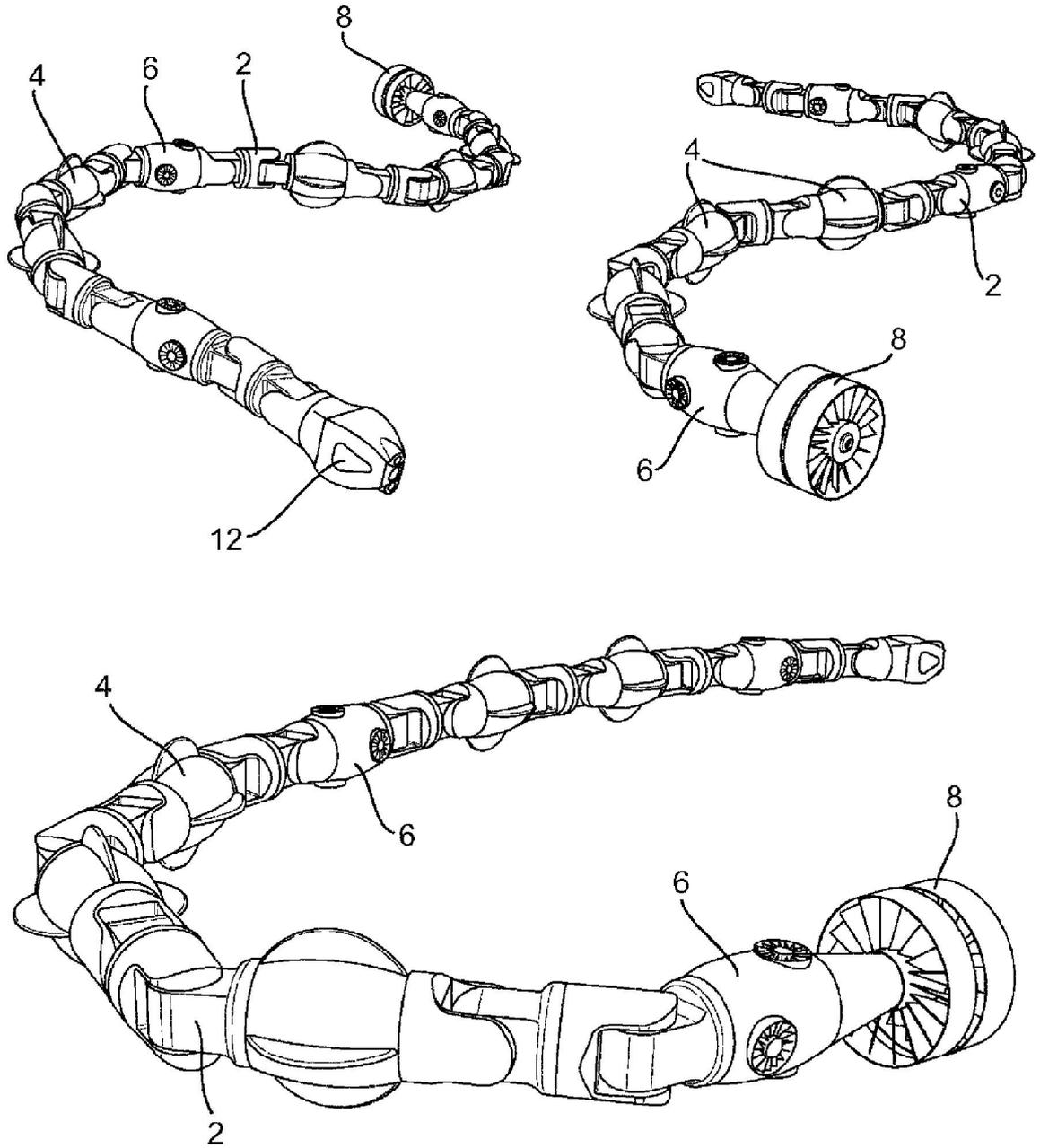


Fig. 2

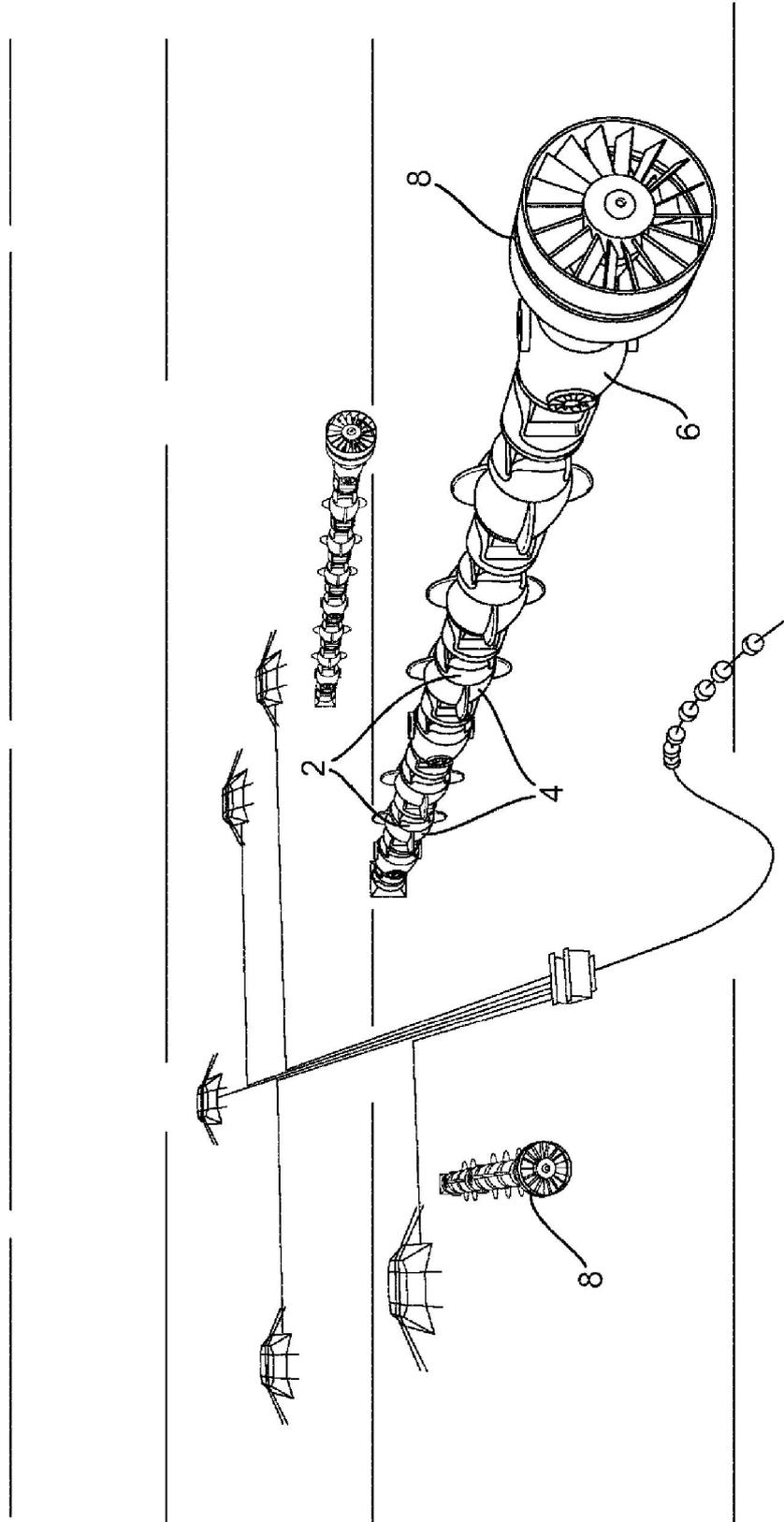


Fig. 3

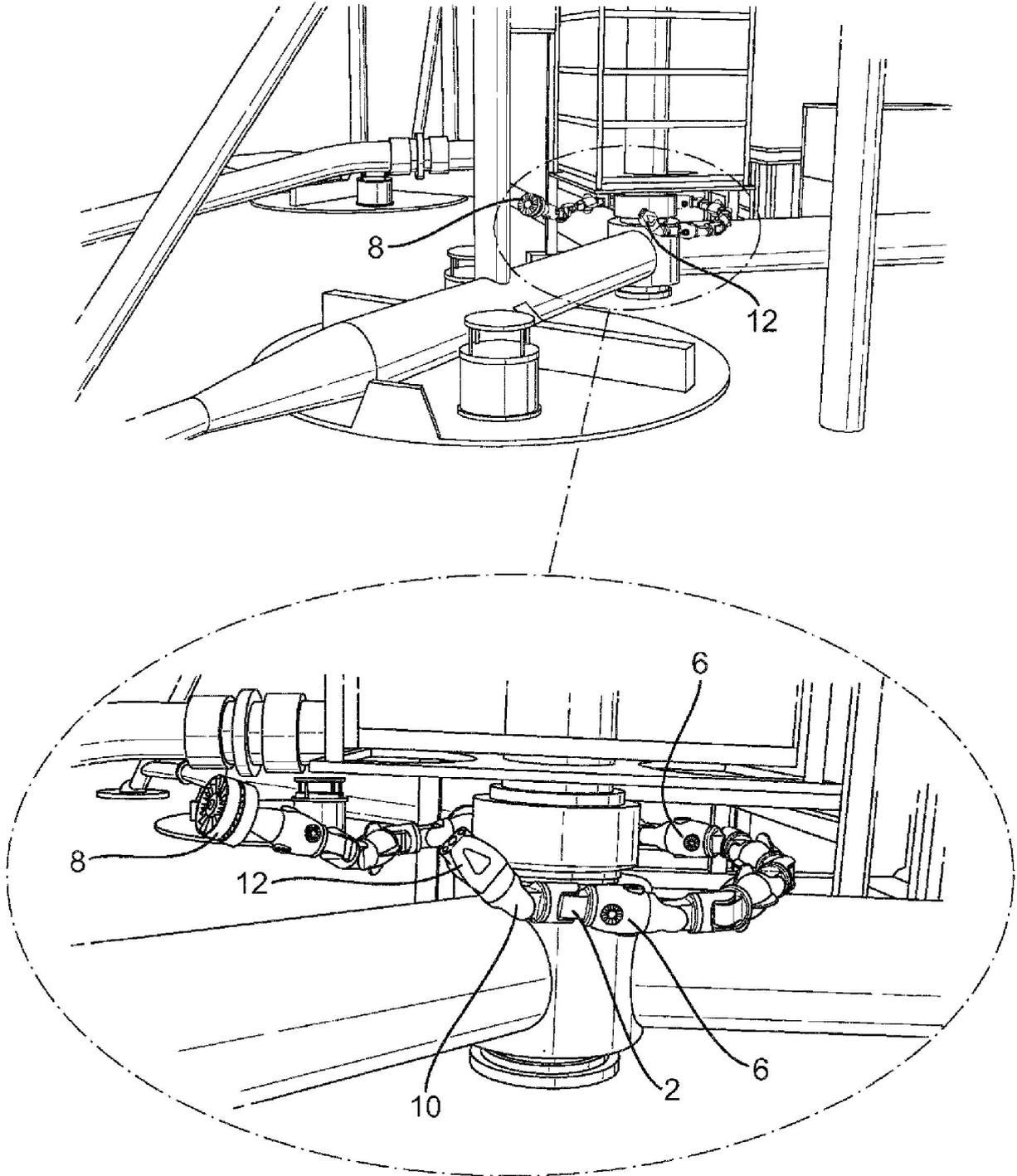


Fig. 4

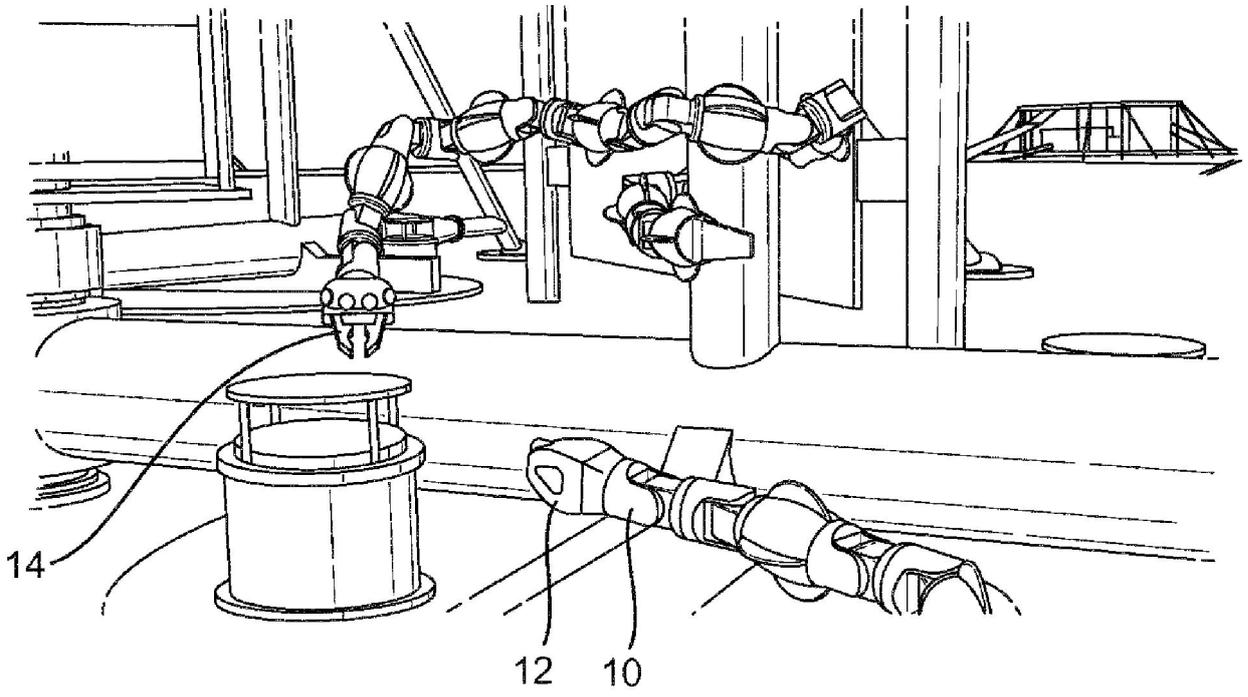


Fig. 5

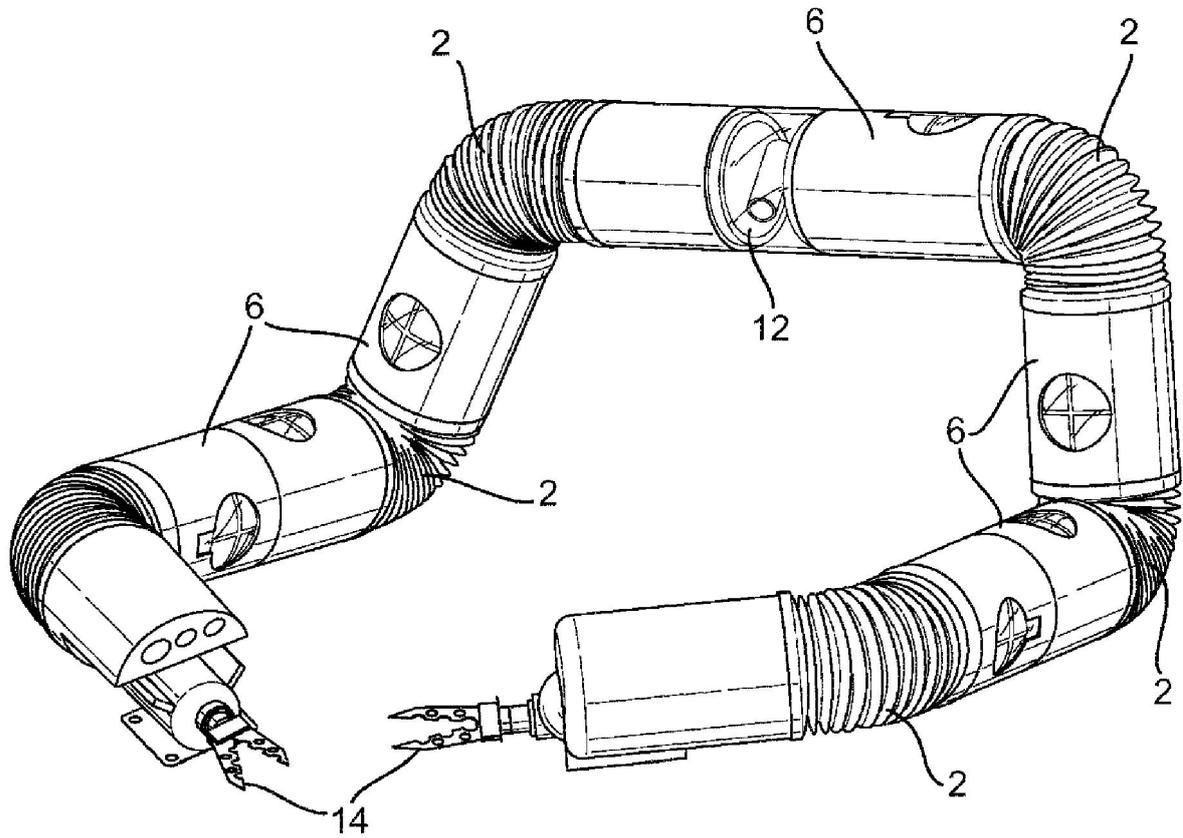


Fig. 6

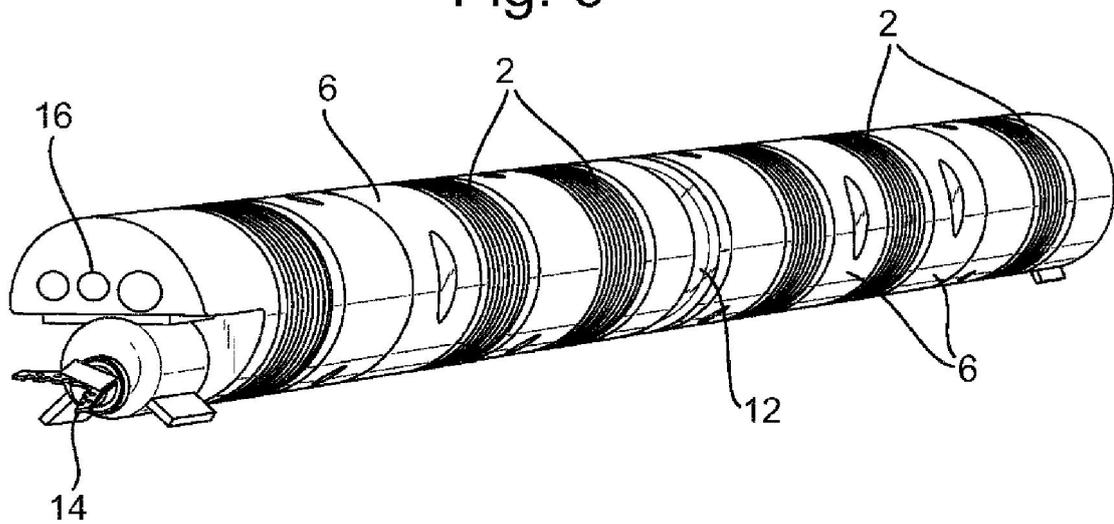


Fig. 7

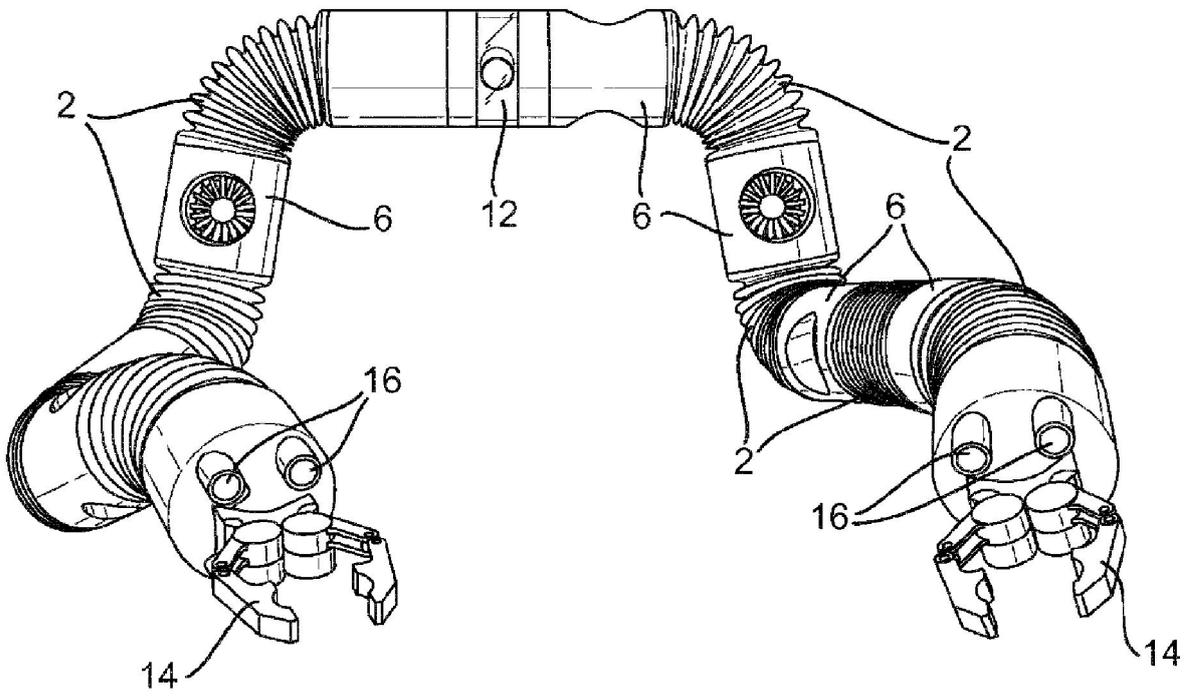


Fig. 8

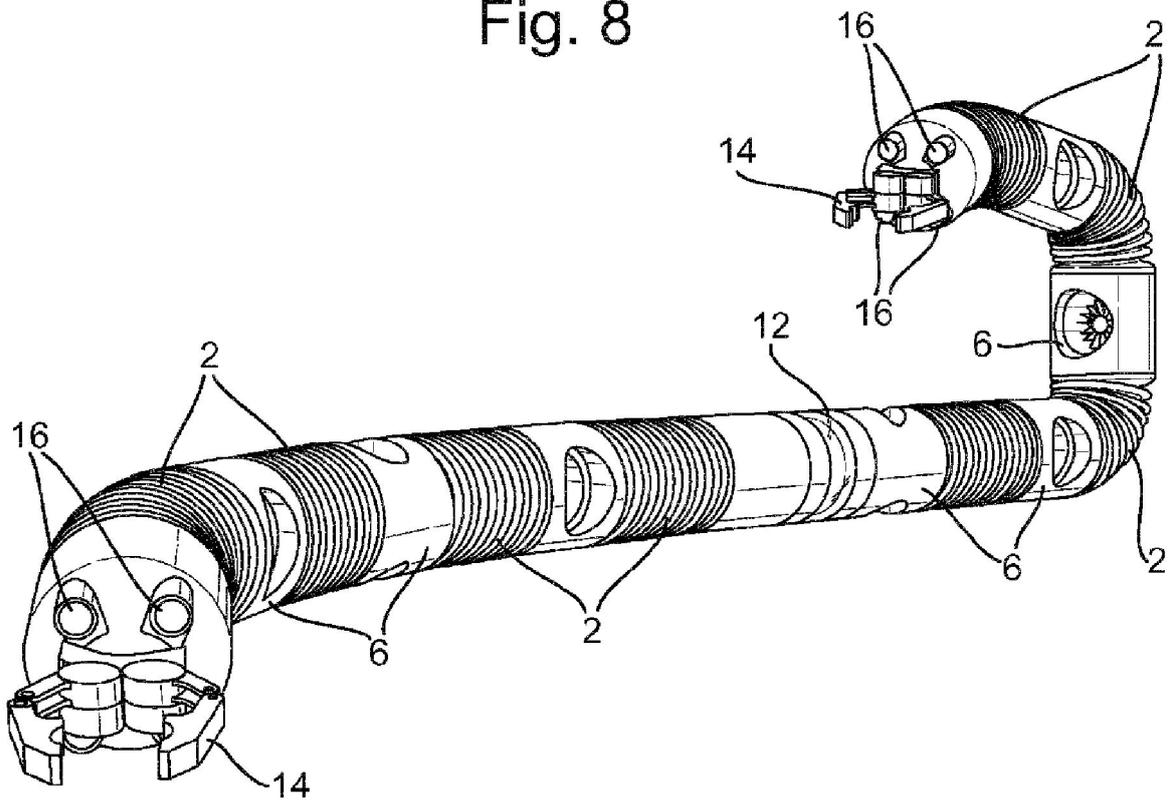


Fig. 9

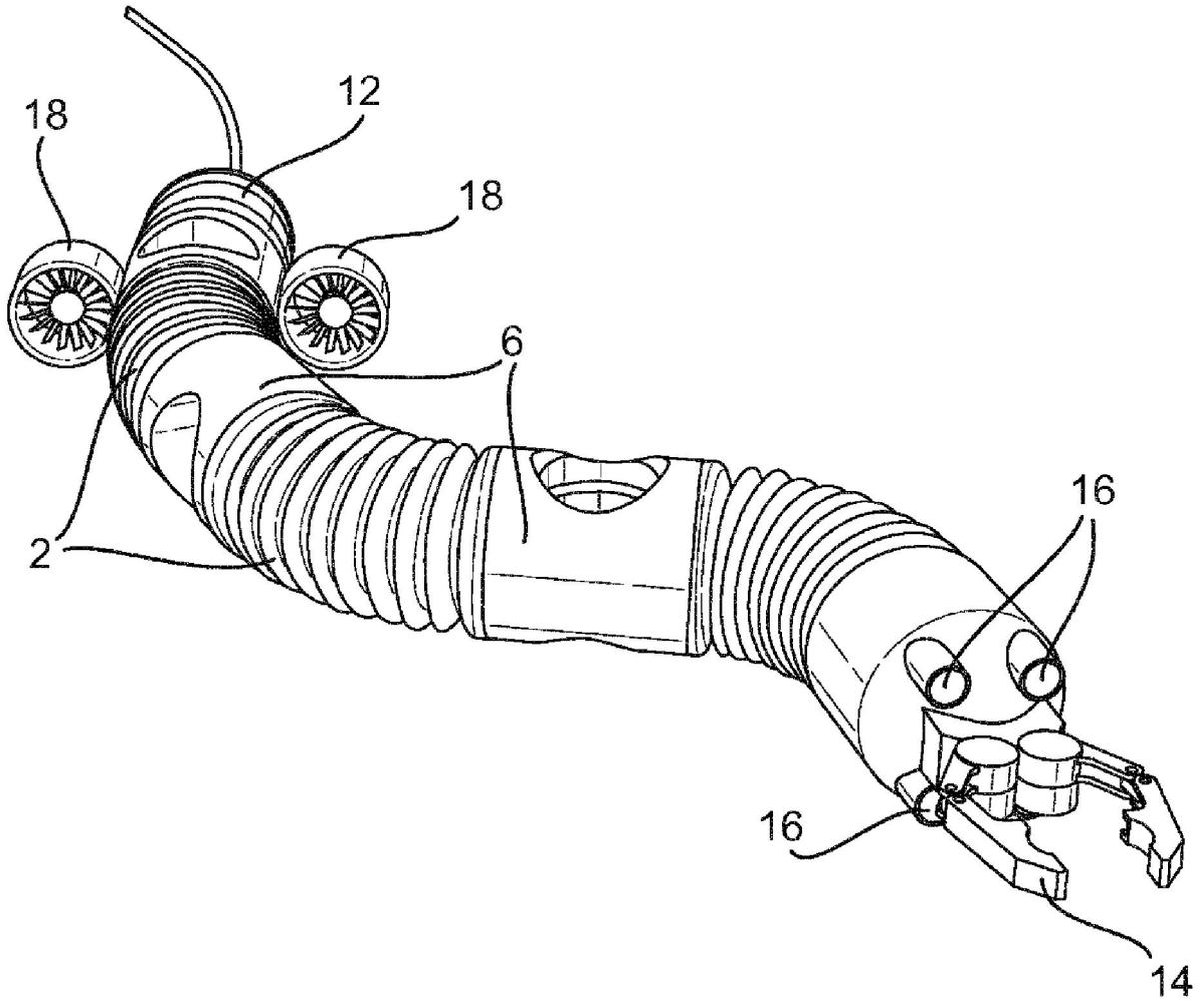


Fig. 10

