

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 974 360**

51 Int. Cl.:

<b>G05D 1/02</b>	(2010.01)
<b>B25J 9/16</b>	(2006.01)
<b>G01S 17/875</b>	(2010.01)
<b>B25J 5/00</b>	(2006.01)
<b>B25J 19/02</b>	(2006.01)
<b>E04G 21/22</b>	(2006.01)
<b>B25J 13/08</b>	(2006.01)
<b>G01S 17/88</b>	(2006.01)
<b>G01S 17/66</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.11.2019 PCT/AU2019/051253**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.05.2020 WO20097685**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.11.2019 E 19885448 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2023 EP 3881153**

54 Título: **Sistema de seguimiento de posición y orientación**

30 Prioridad:

**14.11.2018 AU 2018904340**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.06.2024**

73 Titular/es:

**FASTBRICK IP PTY LTD (100.0%)  
122 Sultana Road West, High Wycombe  
Perth, Western Australia 6057, AU**

72 Inventor/es:

**PIVAC, MARK JOSEPH**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 974 360 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Sistema de seguimiento de posición y orientación

5 **Antecedentes de la invención**

La presente invención se refiere a sistemas y procedimientos para rastrear una posición y orientación de un objeto con respecto a un entorno y, en un ejemplo particular, a sistemas y procedimientos para rastrear una posición y orientación de un componente de robot que experimenta movimiento con respecto al entorno, para permitir que se realice una interacción dentro del entorno.

**Descripción de la técnica anterior**

La referencia en esta memoria descriptiva a cualquier publicación anterior (o información derivada de ésta), o a cualquier asunto que se conozca, no es, y no debe tomarse como un reconocimiento o admisión, o cualquier forma de sugerencia, de que la publicación anterior (o información derivada de ésta) o materia conocida, forme parte del conocimiento general común en el campo de trabajo al que se refiere esta memoria descriptiva.

Es conocido que se proporcionan sistemas en los que un brazo de robot montado en una base de robot en movimiento se utiliza para realizar interacciones dentro de un entorno físico. Por ejemplo, el documento WO 2007/076581 describe un sistema automatizado de colocación de ladrillos para construir un edificio a partir de una pluralidad de ladrillos que comprende un robot provisto de un cabezal de colocación de ladrillos y aplicación de adhesivo, un sistema de medición y un controlador que proporciona datos de control al robot para colocar los ladrillos en ubicaciones predeterminadas. El sistema de medición mide en tiempo real la posición del cabezal y produce datos de posición para el controlador. El controlador produce datos de control en función de una comparación entre los datos de posición y una posición predeterminada o preprogramada del cabezal para colocar un ladrillo en una posición predeterminada para el edificio en construcción. El controlador puede controlar el robot para construir el edificio hilera por hilera, donde los ladrillos se colocan secuencialmente en sus respectivas posiciones predeterminadas y donde se coloca una hilera completa de ladrillos para todo el edificio antes de colocar los ladrillos para la siguiente hilera.

Rastreadores láser tales como los descritos en los documentos US-4.714.339 y US-4.790.651 se pueden usar para medir la posición y orientación de una diana que se ajusta a un objeto. Kyle en CMSC: Charlotte-Concord, del 21 al 25 de julio de 2008, describe un sistema de medición polar de seguimiento láser para medir la posición y orientación de una diana con seis grados de libertad.

Los fabricantes API (Radian y OT2 con STS (Smart Track Sensor)), Leica (AT960 y Tmac) y Faro proporcionan sistemas de seguimiento láser, algunos de los cuales pueden medir la posición y la orientación de la diana. Estos sistemas miden la posición a 300 Hz, o 1 kHz o 2 kHz (dependiendo del equipo). Las mediciones de orientación (para STS y Tmac) se basan en los respectivos sistemas de visión que utilizan cámaras 2D que miden a una corriente máxima de 100 Hz. Datos del acelerómetro como los de un sensor de inclinación o INS (*Inertial Navigation System* - Sistema de Navegación Inercial), se pueden usar para determinar o predecir o interpolar mediciones de orientación a hasta 1000 Hz, pero la precisión de la orientación se puede reducir a 0,01 grados con los sistemas conocidos.

Dichos rastreadores láser se pueden usar para realizar mediciones de posición precisas de un componente de robot, tal como un efector de extremo en un brazo robótico. Los datos obtenidos de un rastreador láser y una diana activa que equivalen a la posición y opcionalmente la orientación de la diana activa ubicada en o proximal al efector terminal se utilizan para controlar al menos la posición y preferiblemente también la orientación del efector terminal y, por lo tanto, para estabilizar el efector terminal. Sin embargo, para que dicha estabilización funcione de manera efectiva, es importante poder conocer la posición y orientación de un componente del robot en tiempo real. Esto puede ser difícil de lograr en la práctica. Por ejemplo, a menudo no hay una línea de visión entre un rastreador y un efector terminal. Además, cuanto más lejos esté el efector terminal de la posición donde se monta una diana de seguimiento, mayor será el error de posición del efector terminal debido al error de medición de la orientación.

Por ejemplo, los rastreadores láser existentes, tales como la serie Leica AT960 con Tmac o sonda T tienen una resolución de 0,01 grados, una latencia de 10 ms y una velocidad de medición de datos de orientación de 10 ms. El sistema interpola y predice mediciones de orientación a incrementos de 1 ms, pero introduce un error de predicción que da como resultado cambios de etapa de los datos de orientación cuando se realizan nuevas mediciones cada 10 ms. Del mismo modo, el API Radian y el STS miden la orientación de guiñada y cabeceo midiendo el ángulo del haz con codificadores, mientras que se usa un sensor de inclinación para medir la gravedad y calcular el balanceo. Tiene una resolución de 0,01 grados pero es muy sensible al error inducido por la aceleración y en su forma actual no es adecuado para mediciones dinámicas.

Si una diana está a 1500 mm del componente de robot, un error de 0,1 grados se convierte en un error de posición de 2,6 mm, lo que no es adecuado para el rendimiento submilimétrico requerido en muchas aplicaciones de control. Por consiguiente, generalmente es necesario lograr una precisión de 0,01 grados, o más preferentemente de 0,001 grados,

lo que conduce a errores de 0,26mm y 0,026 mm, respectivamente.

Sin embargo, si el error varía con cada medición, el error puede resultar en movimientos de compensación utilizados en la estabilización que crean una vibración en el efector terminal y el robot. En este caso, para errores más pequeños, la vibración resultante es menor, pero, sin embargo, sigue siendo problemática.

Si bien la aplicación de un filtro puede eliminar o reducir la vibración, esto introduce un retraso o demora, lo que significa que la posición real medida ya no es precisa. La frecuencia natural de las estructuras de brazo o barra larga (por ejemplo, 10-40 m) está normalmente en el intervalo de 0,25 Hz a 4 Hz y la frecuencia natural de los robots altamente dinámicos está en el intervalo de 10 Hz a 540 Hz. Esto significa que el ruido de error de posición de 1 kHz que se está utilizando para crear comandos de compensación puede crear ruido acústico en la máquina, pero probablemente no mucha vibración, mientras que el ruido de error de posición de 100 Hz puede excitar los armónicos primarios de la estructura de la máquina, lo que a veces resulta en una vibración estructural sustancial.

Por lo tanto, un error de posición variable de 2,6 mm es prácticamente inútil para el trabajo de colocación fina y solo se puede usar para la corrección de deflexión bruta. Si bien un error de posición variable de 0,26 mm es útil para el posicionamiento fino (por ejemplo, tareas de colocación de ladrillos o montaje general), esto puede introducir una vibración sustancial, lo que significa que se necesita un filtro, que, a su vez, introduce un retraso. Si la velocidad de datos es de 10 ms, a continuación un filtro de media móvil puede introducir de 20 ms a 40 ms de retardo, lo que a continuación significa que no es útil para el posicionamiento dinámico o para la compensación de una barra que se mueve rápidamente. Por ejemplo, si la diana se mueve a 100 mm por segundo, un retardo de 20 ms da como resultado un error de posición de 2 mm.

En comparación, si la velocidad de actualización de datos es de 1 ms y el error de posición variable es de 0,026 mm, esto significa que no se requiere filtrado. Para una latencia de 2 ms y una velocidad de diana de 100 mm/s, se introduce un error de posición de 0,2 mm que es aceptable para tareas de posicionamiento fino, como la colocación de ladrillos.

Por lo tanto, se puede observar que los requisitos de precisión de orientación y velocidad de datos superan el rendimiento actual de los sistemas Leica AT960 y Tmac y API Radian y STS mencionados anteriormente.

Los documentos WO2010/069160A1, WO2010/054519A1 y JIANG B C Y COL: "A REVIEW OF RECENT DEVELOPMENTS IN ROBOT METROLOGY", JOURNAL OF MANUFACTURING SYSTEMS, SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS, DEARBORN, MI, US, vol. 7, n.º 4, 1 de enero de 1988 (1988-01-01), páginas 339-357 forman parte además de la técnica anterior.

### Resumen de la presente invención

La invención se define como un sistema de seguimiento según se establece en la reivindicación 1.

En una realización, la posición de cada diana se determina utilizando una medición de distancia obtenida del sensor base y ángulos de elevación y acimuts obtenidos del al menos un sensor de ángulo del cabezal de seguimiento.

En una realización, las señales de un sensor de base de un cabezal de seguimiento respectivo se utilizan para controlar el al menos un accionador del cabezal de seguimiento para garantizar que el cabezal de seguimiento rastrea la diana a medida que se mueve por todo el entorno.

En una realización, la posición de cada diana es relativa a un sistema de coordenadas local del cabezal de seguimiento respectivo.

En una realización, un primer cabezal de seguimiento define un sistema de coordenadas de la base de seguimiento y las mediciones de posición de al menos un segundo y un tercer cabezal de seguimiento se transforman en el sistema de coordenadas de la base de seguimiento utilizando datos de calibración del rastreador.

En una realización, los datos de calibración del rastreador definen la relación geométrica entre los sistemas de coordenadas locales de cada cabezal de seguimiento respectivo.

En una realización, el sistema de control determina la posición de cada diana en un sistema de coordenadas del entorno utilizando datos de calibración del entorno.

En una realización, los datos de calibración del entorno definen la relación geométrica entre el sistema de coordenadas de la base de seguimiento y el sistema de coordenadas del entorno.

En una realización, la posición de cada diana en el sistema de coordenadas del entorno se utiliza para definir vectores de posición y se calcula un producto vectorial cruzado para definir un vector normal a un plano del sistema diana que define la orientación del sistema diana en el sistema de coordenadas del entorno.

## ES 2 974 360 T3

En una realización, la posición y orientación del sistema diana se transforma en la posición y orientación del objeto utilizando datos de calibración del sistema diana que definen la relación geométrica entre el sistema diana y el objeto.

5 En una realización, cada cabezal de seguimiento está calibrado en relación con el sistema de coordenadas del entorno de modo que el sistema de control transforma los datos de posición de cada cabezal de seguimiento directamente en el sistema de coordenadas del entorno.

10 En una realización, el sistema de control compara la posición y orientación determinadas del objeto con una posición y orientación deseadas del objeto y calcula un vector de compensación de acuerdo con los resultados de la comparación.

15 En una realización, cada diana está montada en un soporte controlado por desplazamiento y/o inclinación operable para ayudar a las dianas a mantener la línea de visión con los cabezales de seguimiento.

En una realización: los al menos tres cabezales de seguimiento están separados por al menos uno de: 100 mm a 1000 mm; 250 mm a 750 mm; y, aproximadamente 500 mm; y, las al menos tres dianas están separadas por al menos uno de: 100 mm a 1000 mm; 250 mm a 750 mm; y, aproximadamente 500 mm.

20 En una realización, las al menos tres dianas están montadas en al menos uno de: un soporte de diana; y, directamente en el objeto.

En una realización, el soporte de diana es al menos uno de: montado de forma giratoria en el objeto; y, fijo con respecto al objeto.

25 En una realización, las al menos tres dianas están montadas en un plano y separadas en dos dimensiones para formar así una matriz de dianas triangular.

En una realización, el soporte de diana incluye un marco triangular, con una diana montada cerca de cada vértice.

30 En una realización, la posición de las múltiples dianas con respecto al objeto es fija.

35 En una realización, las dianas están montadas rígidamente en el objeto y donde el sistema de control cambia selectivamente el seguimiento de las dianas para mantener la línea de visión entre los cabezales de seguimiento y las dianas.

En una realización, el cambio selectivo de dianas garantiza que al menos tres dianas sean rastreadas continuamente por los cabezales de seguimiento.

40 En una realización, cada diana es un retroreflector montado esféricamente (SMR - *Spherically Mounted Retroreflector*).

En una realización, el soporte de cabezal de seguimiento incluye una plataforma y donde los múltiples cabezales de seguimiento están montados rígidamente en la plataforma.

45 En una realización, los múltiples cabezales de seguimiento están montados en una disposición colineal sobre la plataforma.

50 En una realización, la base de seguimiento incluye una serie de patas que soportan la plataforma en una posición elevada con respecto al entorno.

En una realización, la plataforma está elevada a una altura que es al menos una de las siguientes: 2m a 4m; 2m a 3m; y, al menos 2.5m.

55 En una realización, la plataforma tiene una estructura tubular alargada y tres patas tubulares alargadas dependen hacia abajo de ella en una configuración de trípode.

60 En una realización, un par de patas exteriores están unidas a la plataforma y una tercera pata interior está montada de forma giratoria en la plataforma, lo que permite que la base de seguimiento se pliegue en una configuración sustancialmente plana para el transporte.

En una realización, las patas tubulares incluyen un accesorio de manguera y una válvula operable para permitir que cada pata se llene al menos parcialmente con agua.

65 En una realización, las patas terminan en una punta que se acopla al suelo.

## ES 2 974 360 T3

En una realización, bajo una carga de viento de hasta 5 m/s, la plataforma experimenta una rotación que es al menos una de: menos de  $\pm 0,01^\circ$ ; menos de  $\pm 0,05^\circ$ ; y, menos de  $\pm 0,001^\circ$ .

5 En una realización, el soporte del cabezal de seguimiento al menos uno de: incluye un sistema de enfriamiento activo; está hecho al menos parcialmente de un material que tiene un bajo coeficiente de expansión térmica; y está recubierto con un recubrimiento resistente al calor o reflectante del calor.

10 En una realización, el objeto es una base de robot que tiene un brazo de robot y un efector terminal montado en la misma configurado para realizar una interacción en el entorno, donde la base de robot experimenta movimiento con respecto al entorno y el sistema de seguimiento mide una posición de base de robot y determina una orientación de la base de robot con respecto al entorno.

15 En una realización, la base del robot incluye un cabezal montado en una barra.

En una realización, la barra está unida a un vehículo.

20 En una realización, el sistema de seguimiento se usa para rastrear la posición y orientación de un cabezal de colocación de ladrillos de una máquina robótica de colocación de ladrillos.

En una realización, el cabezal de colocación de ladrillos está programado para construir las paredes de ladrillo de una casa sobre una losa de construcción.

25 En una realización, el entorno es un sitio de construcción y un sistema de coordenadas del entorno se define como un sistema de coordenadas de la losa de construcción.

30 En otra forma amplia, un aspecto de la presente invención busca proporcionar un sistema robótico de colocación de bloques, que incluye: un robot de colocación de bloques que incluye: una base de camión; una barra extensible y plegable telescópicamente montada en la base de camión; un cabezal de colocación de bloques y aplicación de adhesivo montado en el extremo de la barra para recibir bloques transportados a lo largo de la barra desde la base de camión y colocar bloques en una posición predeterminada; y, una base de seguimiento proporcionada en un entorno, la base de seguimiento incluye: un soporte de cabezal de seguimiento; y, al menos tres cabezales de seguimiento montados en el soporte del cabezal de seguimiento, teniendo cada cabezal de seguimiento: una fuente de radiación dispuesta para enviar un haz de radiación a una diana respectiva; un sensor de base que detecta la radiación reflejada; al menos un accionador del cabezal de seguimiento que controla una orientación del cabezal de seguimiento; y, al menos un sensor de ángulo del cabezal de seguimiento que monitorea una orientación del cabezal de seguimiento; un sistema diana que incluye al menos tres dianas montadas en el cabezal de colocación de bloques y aplicación de adhesivo, cada diana incluye un reflector que refleja el haz de radiación al sensor de base de un cabezal de seguimiento respectivo; y, un sistema de control que: hace que cada cabezal de seguimiento rastree una diana respectiva a medida que se mueve por todo el entorno; determina una posición de cada diana con respecto a un cabezal de seguimiento respectivo al menos en parte usando señales de: cada sensor base; y, el al menos un sensor de ángulo del cabezal de seguimiento; determina una orientación del sistema diana usando al menos en parte la posición determinada de cada diana; y, determina la posición y orientación del cabezal de colocación de ladrillos y aplicación de adhesivo usando la posición y orientación del sistema diana.

45 En una realización, la posición y orientación determinadas del cabezal de colocación de bloques y aplicación de adhesivo se comparan con una posición y orientación deseadas del cabezal de colocación de bloques y aplicación de adhesivo y se calcula un vector de compensación utilizando los resultados de la comparación.

50 En una realización, el sistema diana incluye: al menos un accionador diana que controla una orientación de las dianas; y, al menos un sensor de ángulo diana que monitoriza una orientación de las dianas, y donde el sistema de control: determina una posición relativa de cada diana con respecto al cabezal de seguimiento respectivo al menos en parte usando señales del al menos un sensor de ángulo diana; y, controla el al menos un accionador diana usando la posición relativa de cada diana.

55 En una realización, la plataforma incluye un núcleo de plataforma estructural interior y un escudo térmico de plataforma exterior separado del núcleo de plataforma.

60 En una realización, las patas y los cabezales de seguimiento están montados en un núcleo de plataforma.

En una realización, la plataforma es una plataforma rectangular con una pata que se extiende desde cada esquina.

En una realización, las patas son extensibles.

65 En una realización, la plataforma incluye un indicador de nivelación.

En una realización, cada pata incluye al menos un miembro de pata.

5 En una realización, cada miembro de pata incluye un tubo de pata estructural interior y un protector térmico de pata exterior.

En una realización, cada miembro de pata incluye piezas de extremo de pata que incluyen: un tapón interior que se acopla al tubo de pata; y, un tapón exterior que se acopla al protector térmico exterior.

10 En una realización, cada pata incluye: un par de miembros de pata superior separados paralelos; y, un solo miembro de pata inferior montado de manera deslizante entre los miembros de pata superior.

15 En una realización, los miembros de pata superior están interconectados cerca de cada extremo a través de soportes de conexión, con un soporte de conexión superior montado de forma articulada en la plataforma y el miembro de pata inferior montado de forma deslizante dentro de un soporte de conexión inferior.

En una realización, cada soporte de conexión está unido a las piezas de extremo de pata de los miembros de pata superior.

20 En una realización, el miembro de pata inferior incluye un miembro de guía unido cerca de un extremo superior del miembro de pata inferior, estando el miembro de guía montado de forma deslizante en los miembros de pata superior.

En una realización, cada pata incluye un pie.

25 En una realización, cada pata incluye un amortiguador montado entre el pie y la pata.

En una realización, la guía y el amortiguador soportan cada uno piezas de extremo de la parte inferior de la pata.

30 En una realización, las patas están interconectadas a través de puntales laterales.

En una realización, los puntales laterales son telescópicos.

35 En una realización, el soporte de base de seguimiento incluye: puntales superiores conectados a miembros de pata superior; y puntales inferiores conectados a miembros de pata inferior.

En una realización, las múltiples dianas están montadas en un soporte de diana soportado por un mástil que se extiende desde la base del robot.

40 En otra forma amplia, un aspecto de la presente invención busca proporcionar un soporte de sensor para soportar una disposición de detección, incluyendo el soporte: una plataforma que en uso soporta la disposición de detección, incluyendo la plataforma: un núcleo de plataforma estructural interior; y un escudo térmico de plataforma exterior separado del núcleo de plataforma; una serie de patas extensibles acopladas al núcleo de plataforma que soportan la plataforma en una posición elevada con respecto a un entorno, incluyendo cada pata: un par de miembros de pata superior separados paralelos interconectados cerca de cada extremo a través de soportes de conexión, con un soporte de conexión superior montado de forma articulada en el núcleo de la plataforma; y, un único miembro de pata inferior montado de forma deslizante entre los miembros de pata superior dentro de un soporte de conexión inferior, donde cada miembro de pata incluye: un tubo de pata estructural interior; y, un escudo térmico de pata exterior.

50 Se apreciará que las formas amplias de la invención y sus respectivas características pueden usarse en conjunto y/o independientemente, y la referencia a formas amplias separadas no pretende ser limitativa. Además, se apreciará que las características del procedimiento se pueden realizar usando el sistema o aparato y que las características del sistema o aparato se pueden implementar usando el procedimiento.

### 55 Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán diversos ejemplos y realizaciones de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los que: -

60 La Figura 1A es un diagrama esquemático que ilustra un primer ejemplo de un sistema para realizar interacciones dentro de un entorno físico;

La Figura 1B es un diagrama esquemático de un segundo ejemplo de un sistema para realizar interacciones dentro de un entorno físico;

La Figura 1C es una vista en planta esquemática del sistema de la Figura 1B;

65 La Figura 2 es un diagrama esquemático de un ejemplo de un sistema de control para los sistemas de las Figuras 1A a 1C;

- La Figura 3 es un diagrama de flujo de un ejemplo de un procedimiento para realizar una interacción física;  
 La Figura 4 es un diagrama esquemático de un ejemplo de un sistema de seguimiento para rastrear una base de robot;
- 5 La Figura 5A es una vista en perspectiva esquemática parcial de un ejemplo específico de un sistema para realizar interacciones que incluye un sistema de seguimiento;  
 La Figura 5B es una vista en planta esquemática del sistema de la Figura 5A;  
 La Figura 5C es una vista lateral esquemática del sistema de la Figura 5A;  
 La Figura 6A es una vista en perspectiva esquemática de un ejemplo de un brazo robótico que incluye una diana del sistema de seguimiento;
- 10 La Figura 6B es una vista esquemática en planta de la diana de la Figura 6A;  
 La Figura 6C es una vista frontal esquemática de la diana de la Figura 6A;  
 La Figura 6D es una vista en perspectiva esquemática de la diana de la Figura 6A;  
 La Figura 7A es un diagrama esquemático de un ejemplo de una base de seguimiento;  
 La Figura 7B es una vista en perspectiva esquemática en primer plano de un cabezal de seguimiento de la base de seguimiento de la Figura 7A;
- 15 La Figura 7C es una vista frontal esquemática de la base de seguimiento de la Figura 7A;  
 La Figura 7D es una vista esquemática en planta de la base de seguimiento de la Figura 7A;  
 La Figura 7E es una vista lateral esquemática de un ejemplo de una pata de la base de seguimiento de la Figura 7A;  
 La Figura 7F es una vista en sección transversal esquemática a través de la línea A-A' de la Figura 7E;  
 La Figura 7G es un primer plano esquemático de una pieza final de la pata que se muestra en la Figura 7F;  
 La Figura 7H es una vista en perspectiva esquemática de la pata de la Figura 7E;
- 20 La Figura 8 es un diagrama esquemático de un ejemplo específico de un controlador de sistema de seguimiento;  
 La Figura 9A es una vista en perspectiva esquemática de un ejemplo adicional de una base de robot que incluye una configuración diana;
- 25 La Figura 9B es una vista en perspectiva esquemática de un ejemplo adicional de una base de robot que incluye una configuración diana;  
 La Figura 10A es una vista en perspectiva de un ejemplo adicional de una base de robot que incluye una configuración diana;
- 30 La Figura 10B es una vista lateral de la base de robot de la Figura 10A;  
 La Figura 11A es una vista en perspectiva de un ejemplo adicional de una base de seguimiento;  
 La Figura 11B es una vista en perspectiva en despiece de un soporte de cabezal de seguimiento como se muestra en el Detalle A de la Figura 11A;  
 La Figura 11C es una vista en primer plano de una pata de la base de seguimiento que muestra un conector de manguera y una disposición de válvula; y,
- 35 La Figura 12 es una vista en planta esquemática de un sistema de colocación de bloques robótico que incluye una máquina de colocación de bloques y un sistema de seguimiento.

#### Descripción detallada de las realizaciones preferidas

- 40 La siguiente descripción explica una serie de sistemas y procedimientos diferentes para realizar interacciones dentro de un entorno. Con fines ilustrativos, las siguientes definiciones se aplican a la terminología utilizada en todo el documento.
- 45 El término "interacción" pretende referirse a cualquier interacción física que ocurre dentro de, e incluyendo con o sobre, un entorno. Ejemplos de interacciones podrían incluir colocar material u objetos dentro del entorno, eliminar material u objetos del entorno, mover material u objetos dentro del entorno, modificar, manipular o interactuar de otro modo con material u objetos dentro del entorno, modificar, manipular o interactuar de otro modo con el entorno, o similares. Otros ejemplos de interacciones resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción, y se apreciará que las técnicas podrían extenderse a una amplia gama de interacciones diferentes, y los ejemplos especificados no pretenden ser limitativos. Además, en algunos ejemplos, las interacciones pueden comprender una o más etapas distintas. Por ejemplo, al colocar ladrillos, una interacción podría incluir las etapas de recuperar un ladrillo de un mecanismo de suministro de ladrillos y luego colocar el ladrillo en el entorno.
- 50 El término "entorno" se usa para referirse a cualquier ubicación, región, área o volumen dentro del cual, o sobre el cual, se realizan interacciones. El tipo y la naturaleza del entorno variarán dependiendo de la implementación preferida y el entorno podría ser un entorno físico discreto, y/o podría ser un entorno físico lógico, delineado desde el entorno únicamente en virtud de que este sea un volumen dentro del cual se producen interacciones. Ejemplos no taxativos de entornos incluyen sitios de construcción o de edificios, partes de vehículos, tales como cubiertas de barcos o bandejas de carga de camiones, fábricas, sitios de carga, áreas de trabajo en tierra o similares, y se describirán con más detalle a continuación ejemplos adicionales.
- 55 Un brazo robótico es un manipulador mecánico programable. En esta especificación, un brazo robótico incluye brazos articulados de ejes múltiples, robots cinemáticos paralelos (como Stewart Platform, robots Delta), robots de geometría esférica, robots cartesianos (robots de eje ortogonal con movimiento lineal), etc.
- 60
- 65

5 Una barra es una estructura de soporte alargada, como una barra giratoria, con o sin palo o cuchara, con o sin elementos telescópicos, barras telescópicas, barras articuladas telescópicas. Ejemplos incluyen barras de grúa, barras de movimiento de tierras, barras de grúa de camión, todas con o sin soporte de cable o elementos de refuerzo de cable. Una barra también puede incluir una estructura de pórtico aéreo, o pórtico en voladizo, o una armadura de tracción controlada (la barra puede no ser una barra sino una grúa cinemática paralela soportada por múltiples cables (ver sistemas PAR, Tensile Truss - Grúa Chemobyl)), u otro brazo móvil que pueda trasladar la posición en el espacio.

10 Un efector terminal es un dispositivo en el extremo de un brazo robótico diseñado para interactuar con el entorno. Un efector terminal puede incluir una pinza, boquilla, chorro de arena, pistola pulverizadora, llave inglesa, imán, soplete de soldadura, soplete de corte, sierra, fresadora, fresadora, cizalla, cizalla hidráulica, láser, herramienta de remachado o similares, y la referencia a estos ejemplos no pretende ser limitativa.

15 TCP es una abreviatura de punto central de la herramienta - *Tool Centre Point*. Esta es una ubicación en el efector terminal (o herramienta), cuya posición y orientación definen las coordenadas del objeto controlado. Por lo general, se encuentra en el extremo distal de la cadena cinemática. La cadena cinemática se refiere a la cadena de enlaces y sus articulaciones entre la base de un brazo robótico y el efector terminal.

20 CNC es una abreviatura de control numérico informático (*Computer Numerical Control*), utilizado para la automatización de máquinas por parte de secuencias preprogramadas ejecutadas por ordenador/procesador/microcontrolador de comandos de control de la máquina.

25 La aplicación de transformaciones de coordenadas dentro de un sistema de control CNC generalmente se realiza para permitir la programación en un sistema de coordenadas conveniente. También se realiza para permitir la corrección de errores de posición de la pieza de trabajo cuando se sujeta en un tornillo de banco o accesorio en un centro de mecanizado CNC.

30 Estas transformaciones de coordenadas generalmente se aplican en un sentido estático para tener en cuenta los cambios de coordenadas estáticas o para corregir errores estáticos.

Los robots y las máquinas CNC se programan en un sistema de coordenadas cartesianas conveniente, y se utilizan transformaciones cinemáticas para convertir las coordenadas cartesianas en posiciones conjuntas para mover la postura del robot o la máquina CNC.

35 La medición de la posición de un efector terminal del brazo del robot cerca del TCP en tiempo real aumenta la precisión de un robot. Esto se realiza en efectores finales estáticos en robots utilizados para sondear y perforar. Esto se logra mediante un procedimiento de varias etapas para moverse a la posición programada, tomar una medición de posición, calcular un vector de corrección, agregar el vector de compensación a la posición programada y luego mover el TCP a la nueva posición. Este procedimiento no se realiza en tiempo real y se basa en una postura estática del brazo del robot.

40 A continuación se describirán ejemplos de sistemas para realizar interacciones dentro de entornos físicos con referencia a las Figuras 1A a 1C y la Figura 2.

45 En el ejemplo de la Figura 1A, el sistema 100 incluye un conjunto de robot 110 que incluye una base de robot 111, un brazo de robot 112 y un efector terminal 113. El conjunto de robot 110 se coloca con respecto a un entorno E, que en este ejemplo se ilustra como un plano 2D, pero en la práctica podría ser un volumen 3D de cualquier configuración. Durante el uso, el efector terminal 113 se utiliza para realizar interacciones dentro del entorno E, por ejemplo, para realizar albañilería, manipulación de objetos o similares.

50 El sistema 100 también incluye un sistema de seguimiento 120, que es capaz de rastrear el movimiento del conjunto de robot y, en un ejemplo particular, el movimiento de la base de robot con respecto al entorno. En un ejemplo, el sistema de seguimiento incluye una base de seguimiento 121, que típicamente se coloca estáticamente con respecto al entorno E y una diana de seguimiento 122, montada en la base del robot 111, lo que permite determinar una posición de la base del robot 111 con respecto al entorno E.

55 En un ejemplo, el sistema de seguimiento 120 incluye una base de seguimiento 121 que incluye un cabezal de seguimiento que tiene una fuente de radiación dispuesta para enviar un haz de radiación (por ejemplo, láser) a la diana 122 y un sensor de base que detecta la radiación reflejada. Se proporciona un sistema de seguimiento de base que rastrea una posición de la diana 122 y controla una orientación del cabezal de seguimiento para seguir la diana 122 a medida que se mueve por todo el entorno. En un ejemplo, la diana 122 incluye un sensor de diana que detecta el haz de radiación y un sistema de seguimiento de diana que rastrea una posición de la base de seguimiento y controla una orientación de la diana para seguir el cabezal de seguimiento, aunque esto puede no ser necesario en un sistema pasivo. Se pueden proporcionar sensores de ángulo en el cabezal y la diana que determinan una orientación del cabezal y la diana respectivamente. Un sistema de procesamiento de rastreador determina una posición relativa de la

base del rastreador y la diana de acuerdo con las señales de los sensores, específicamente usando señales de los sensores de ángulo para determinar los ángulos relativos del rastreador y la diana, mientras que el tiempo de vuelo del haz de radiación se puede usar para determinar una separación física. En un ejemplo adicional, la radiación se puede polarizar para permitir que se determine un balanceo de la diana en relación con el cabezal de seguimiento. Aunque se muestra un único sistema de seguimiento 120 que incluye un cabezal y una diana, esto no es esencial y en otros ejemplos se pueden proporcionar múltiples sistemas de seguimiento y/o dianas como se describirá con más detalle a continuación.

En un ejemplo particular, el sistema de seguimiento es un sistema de seguimiento láser y las disposiciones de ejemplo son fabricadas por API (Radian y OT2 con STS (Smart Track Sensor)), Leica (AT960 y Tmac) y Faro. Estos sistemas miden la posición a 300 Hz, o 1 kHz o 2 kHz (dependiendo del equipo) y se basan en una combinación de disposiciones de detección, incluido el seguimiento láser, sistemas de visión que utilizan cámaras 2D, datos de acelerómetros como los de un sensor de inclinación o INS (Sistema de Navegación Inercial) y se pueden usar para realizar mediciones de posición precisas, con datos obtenidos del rastreador láser y la diana activa que equivalen a la posición y, opcionalmente, la orientación de la diana activa en relación con el entorno E. Como dichos sistemas son conocidos y están disponibles comercialmente, estos no se describirán con más detalle.

También se apreciará que otros sensores de posición / movimiento, como un conjunto de medición inercial (IMU), también se pueden incorporar al sistema, como se describirá con más detalle a continuación.

Se proporciona un sistema de control 130 en comunicación con el sistema de seguimiento 120 y el conjunto de robot 110 que permite controlar el conjunto de robot en función de las señales recibidas del sistema de seguimiento. El sistema de control incluye típicamente uno o más procesadores de control 131 y una o más memorias 132. Para facilitar la ilustración, la descripción restante hará referencia a un dispositivo de procesamiento y una memoria, pero se apreciará que se podrían usar múltiples dispositivos de procesamiento y/o memorias, con referencia al singular que abarca las disposiciones plurales. En uso, la memoria almacena instrucciones de control, generalmente en forma de software de aplicaciones o firmware, que el procesador 131 ejecuta para permitir que las señales del sistema de seguimiento 120 y el conjunto de robot 110 se interpreten y utilicen para controlar el conjunto de robot 110 para permitir que se realicen interacciones.

Un ejemplo del sistema de control 130 se muestra con más detalle en la Figura 2.

En este ejemplo, el sistema de control 230 está acoplado a un controlador de brazo de robot 210, un controlador de sistema de seguimiento 220 y un controlador de barra 240. El controlador de brazo de robot 210 está acoplado a un accionador de brazo de robot 211 y un accionador de efector de extremo 212, que pueden controlar el posicionamiento del brazo de robot 112 y el efector de extremo 113, respectivamente. El controlador del sistema de seguimiento 220 está acoplado al cabezal de seguimiento 121 y a la diana 122 a través del accionador del cabezal de seguimiento 250 y, opcionalmente, del accionador de la diana 260, lo que permite controlar el sistema de seguimiento y determinar las posiciones relativas del cabezal de seguimiento 121 y de la diana 122 y devolverlas al sistema de control 230. El controlador de barra 240 se acopla típicamente a los accionadores de barra 241, 242 que se pueden usar para posicionar la barra y, por lo tanto, la base del robot. Debe entenderse que en la práctica el brazo del robot, el efector terminal y la barra tendrán múltiples accionadores tales como servomotores, cilindros hidráulicos y similares para efectuar el movimiento de sus respectivos ejes (es decir, juntas) y la referencia a accionadores individuales no pretende ser limitante.

Cada uno del controlador del brazo robótico 210, el controlador del sistema de seguimiento 220 y el controlador de la barra 240 incluye típicamente dispositivos de procesamiento electrónico, que funcionan junto con las instrucciones almacenadas, y que funcionan para interpretar los comandos proporcionados por el sistema de control 230 y generar señales de control para los respectivos accionadores y/o el sistema de seguimiento y/o recibir señales de los sensores y proporcionar datos relevantes al sistema de control 230. Los dispositivos de procesamiento electrónico podrían incluir cualquier dispositivo de procesamiento electrónico tal como un microprocesador, procesador de microchip, configuración de puerta lógica, firmware opcionalmente asociado con la implementación de lógica tal como una FPGA (Matriz de Puerta Programable en Campo - *Field Programmable Gate Array*), o cualquier otro dispositivo, sistema o disposición electrónica. Se apreciará que el controlador del brazo robótico 210, el controlador del sistema de seguimiento 220 y el controlador de la barra 240 típicamente forman parte del conjunto de la barra, el conjunto del robot y el sistema de seguimiento, respectivamente. Como el funcionamiento de dichos sistemas se entendería en la técnica, estos no se describirán con más detalle.

El sistema de control 230 generalmente incluye un dispositivo de procesamiento electrónico 231, una memoria 232, un dispositivo de entrada/salida 233 y una interfaz 234, que se pueden utilizar para conectar el sistema de control 230 al controlador del brazo robótico 210, al controlador del sistema de seguimiento 220 y al controlador de la barra 240. Aunque se muestra una única interfaz exterior, esto es solo con fines de ejemplo y, en la práctica, múltiples interfaces que utilizan varios procedimientos (por ejemplo, Ethernet, serie, USB, inalámbrico o similares).

En uso, el dispositivo de procesamiento 231 ejecuta instrucciones en forma de software de aplicaciones almacenado

en la memoria 232 para permitir que se realicen los procedimientos requeridos. El software de aplicaciones puede incluir uno o más módulos de software, y puede ejecutarse en un entorno de ejecución adecuado, tal como un entorno de sistema operativo, o similares.

5 Por consiguiente, se apreciará que el sistema de control 230 puede formarse a partir de cualquier sistema de procesamiento adecuado, tal como un PC programado adecuadamente, un servidor informático o similares. En un ejemplo particular, el sistema de control 230 es un sistema de procesamiento estándar tal como un sistema de procesamiento basado en arquitectura Intel, que ejecuta aplicaciones de software almacenadas en almacenamiento no volátil (por ejemplo, disco duro), aunque esto no es esencial. Sin embargo, también se entenderá que el sistema  
10 de procesamiento podría ser cualquier dispositivo de procesamiento electrónico tal como un microprocesador, procesador de microchip, configuración de puerta lógica, firmware opcionalmente asociado con la implementación de lógica tal como una FPGA (Matriz de Puerta Programable en Campo - *Field Programmable Gate Array*), o cualquier otro dispositivo electrónico, sistema o disposición.

15 También se apreciará que las disposiciones descritas anteriormente son solo para fines ilustrativos y se podría utilizar una amplia gama de sistemas diferentes y configuraciones de control asociadas. Por ejemplo, se apreciará que la distribución del procesamiento entre los controladores y/o el sistema de control podría variar dependiendo de la implementación preferida.

20 Para el propósito de los siguientes ejemplos, se hará referencia a un sistema de coordenadas del entorno ECS, que es estático con respecto al entorno E, y un sistema de coordenadas de la base del robot RBCS, que es estático con respecto a la base del robot 111. Además, algunos ejemplos harán referencia a un sistema de coordenadas del accionador de la base del robot BACS, que es un sistema de coordenadas utilizado para controlar el movimiento de la base del robot, por ejemplo, para controlar el movimiento del conjunto de barra.

25 En la práctica, en los ejemplos descritos anteriormente, la base del robot 111 experimenta un movimiento con respecto al entorno E. La naturaleza del movimiento variará dependiendo de la implementación preferida. Por ejemplo, la base del robot 111 podría ser estática, con el entorno E en movimiento. Un buen ejemplo de esto es cuando se proporciona un brazo robótico en un muelle y se intenta interactuar con objetos presentes en la cubierta de un barco, que está experimentando un movimiento relativo al muelle. Sin embargo, se apreciará que surgirá un movimiento relativo similar en una variedad de circunstancias diferentes.  
30

De manera alternativa, en el ejemplo que se muestra en la Figura 1B, la base del robot 111 está soportada por un accionador de la base del robot 140, que se puede usar para mover la base del robot. En este ejemplo, el accionador de la base del robot tiene la forma de un conjunto de barra que incluye una base de barra 141, una barra 142 y un palo 143. La barra es típicamente controlable, lo que permite ajustar una posición y/u orientación de la base del robot. Los tipos de movimiento disponibles variarán dependiendo de la implementación preferida. Por ejemplo, la base de la barra 141 podría montarse en un vehículo permitiendo que este se coloque y opcionalmente se gire a una posición y orientación deseadas. La barra y el palo 142, 143 pueden ser disposiciones telescópicas, que incluyen una serie de miembros de barra o palo telescópicos, que permiten ajustar una longitud de la barra o palo. Además, los ángulos entre la base de la barra 141 y la barra 142, y la barra 142 y el palo 143, se pueden controlar, por ejemplo, utilizando accionadores hidráulicos, lo que permite que la base del robot 111 se proporcione en una posición deseada con respecto al entorno E. Dicha operación se realiza típicamente en el sistema de coordenadas del accionador de la base del robot BACS, aunque esto no es esencial, como será evidente a partir de la descripción restante.  
40  
45

Un ejemplo de un sistema de esta forma para colocar ladrillos se describe en el documento WO 2018/009981. Sin embargo, se apreciará que tales disposiciones no se limitan a la albañilería, sino que también podrían utilizarse para otras formas de interacciones.

50 Dependiendo de la implementación, el conjunto de la barra puede tener una longitud significativa, por lo que, por ejemplo, en el caso de una aplicación de construcción, la barra puede necesitar extenderse a través de un sitio de construcción y podría tener una longitud de decenas de metros. En tales circunstancias, la barra está típicamente sujeta a una variedad de cargas, incluidas las fuerzas resultantes del movimiento de la barra y/o el brazo del robot, la carga del viento, las vibraciones de la maquinaria o similares, que a su vez pueden inducir oscilaciones u otro movimiento en el extremo de la barra, lo que a su vez hace que la base del robot se mueva con respecto al entorno. Dicho movimiento se denominará generalmente como movimiento no intencional. Además, como se describió anteriormente, la base del robot se puede mover de manera controlada moviendo activamente la barra y dicho movimiento se denominará generalmente movimiento intencional.  
55

60 En cualquier caso, se apreciará que en ambos ejemplos descritos anteriormente, la base del robot y, por lo tanto, el sistema de coordenadas de la base del robot RBCS se mueve con respecto al entorno y, por lo tanto, al sistema de coordenadas del entorno ECS, lo que complica sustancialmente el procedimiento de control y, en particular, la capacidad del efector terminal para colocarse con precisión para realizar una interacción dentro del entorno. En este sentido, en aplicaciones de robots normales, el efector terminal se controla en el sistema de coordenadas de la base del robot RBCS, mientras que el efector terminal debe colocarse en el sistema de coordenadas del entorno ECS, y  
65

como el movimiento hace que los dos sistemas de coordenadas se muevan uno con respecto al otro, esto dificulta el posicionamiento preciso del efector terminal.

5 A continuación se describirá un ejemplo del procedimiento para realizar una interacción dentro del entorno E con referencia a la Figura 3.

10 A los efectos de la siguiente explicación, se hará referencia a un término "destino". El término pretende referirse a una posición y opcionalmente orientación (en combinación denominada pose) en la que se debe proporcionar el efector terminal 113, ya sea como parte de la realización de una interacción o de otro modo. Por ejemplo, el destino podría corresponder a la ubicación dentro del entorno en el que se producirá la interacción. Sin embargo, esto no es esencial y, alternativamente, el destino podría corresponder a cualquier posición a través de la cual debería pasar el efector terminal, definiendo en efecto múltiples destinos que conducen a un destino final. Por ejemplo, una interacción puede implicar secuencias de movimientos del efector terminal, que opcionalmente forman parte de diferentes etapas, y el término destino podría referirse a cualquier posición que forme parte de las diferentes etapas. Por lo tanto, el término destino debe interpretarse para referirse a cualquier punto particular en el que se colocará el efector terminal y, en algunos ejemplos, un destino podría ser un punto estático en el que se mantendrá un efector terminal durante un período de tiempo, por ejemplo, mientras se realizan otros procedimientos, mientras que en otros casos el destino podría ser transitorio y corresponder a un punto en una ruta a través de la cual atravesará el efector terminal.

20 En este ejemplo, se determinan una o más posiciones de destino en la etapa 300. La manera en que esto se logra variará dependiendo de la implementación preferida. En un ejemplo, los destinos pueden recuperarse de una base de datos u otro almacén de datos, recibirse de otro sistema de procesamiento, determinarse en función de señales de sensores o comandos de entrada de usuario, o similares. Por ejemplo, los destinos del efector terminal podrían derivarse de un plan, como un plan de construcción para un edificio, en cuyo caso el plan podría recuperarse y los destinos derivarse del plan. A este respecto, el plan de construcción puede identificar las posiciones en las que se colocarán objetos como ladrillos para construir un edificio. En este ejemplo, las posiciones de destino simplemente se pueden recuperar del plan.

30 Sin embargo, esto no es esencial y, alternativamente, es posible que sea necesario determinar las posiciones de destino de otras maneras. Por ejemplo, puede ser necesario recuperar un objeto de un entorno, en cuyo caso el destino del efector terminal corresponde a la posición del objeto. En este ejemplo, la posición del objeto puede no conocerse de antemano, en cuyo caso puede ser necesario detectar la posición del objeto, por ejemplo, utilizando un sistema de visión basado en cámara u otro sistema de localización, lo que permite utilizar la posición detectada para definir la posición de destino. En este sentido, el objeto podría ser estático o en movimiento, lo que significa que mientras que el destino normalmente es estático en relación con el sistema de coordenadas del entorno ECS, en algunos ejemplos, el destino podría estar en movimiento.

35 También se apreciará que los destinos podrían determinarse de otras maneras apropiadas, y los ejemplos descritos anteriormente no pretenden ser restrictivos.

40 En la etapa 310, se planifica opcionalmente una trayectoria de base de robot para permitir el movimiento de la base de robot 111. La trayectoria de la base del robot puede no ser necesaria, por ejemplo, en el caso de que la base del robot 111 esté estática o ya esté colocada. Sin embargo, se apreciará que la trayectoria de la base del robot se puede utilizar para mover la base del robot 111 a diferentes posiciones dentro o en relación con el entorno E, con el fin de permitir que el efector terminal 113 se proporcione más convenientemente en el destino respectivo. La manera en que se calcula la ruta base variará dependiendo de la implementación preferida y los ejemplos se describirán con más detalle a continuación.

50 En la etapa 320, se planifica una trayectoria del efector terminal para mover el efector terminal 113 al destino. La trayectoria del efector terminal se planifica típicamente en función de una posición planificada de la base del robot 111 con respecto al entorno E, por ejemplo, para tener en cuenta el movimiento de la base del robot 111 a lo largo de la trayectoria de la base del robot. La trayectoria del efector terminal puede extenderse desde una posición previa esperada de un efector terminal 113, por ejemplo, al finalizar una interacción previa u otra etapa, o podría calcularse en tiempo real en función de una posición actual del efector terminal. Se apreciará que en el caso de que el destino se base en una posición actual, la trayectoria del efector terminal podría ser una trayectoria nula con longitud cero, utilizándose esto con el fin de posicionar el efector terminal 113 estáticamente con respecto al entorno E.

60 En la etapa 330, la base del robot 111 se mueve opcionalmente en función de la trayectoria de la base del robot, por ejemplo, controlando el conjunto de barra 140 u otra forma de accionador de la base del robot. Este procedimiento se realiza normalmente en el sistema de coordenadas del actuador de la base del robot BACS, aunque esto no es esencial y la planificación de la trayectoria de la base del robot y/o el control del movimiento de la base del robot podrían realizarse en otros sistemas de coordenadas. Durante y/o después de este procedimiento, el comienzo del movimiento del efector terminal se realiza en la etapa 340, haciendo que el efector terminal comience a moverse a lo largo de la trayectoria del efector terminal, suponiendo que esto sea necesario. Este procedimiento se realiza normalmente en el sistema de coordenadas de la base del robot RBCS, aunque esto no es esencial y la planificación y/o el control de la

65

trayectoria del efector terminal podría realizarse en otros sistemas de coordenadas.

A medida que se realiza el movimiento del efector terminal 113, o de lo contrario si el efector terminal 113 se mantiene en una posición estática con respecto al entorno E, el movimiento de la base del robot se monitorea en la etapa 350, utilizando el sistema de seguimiento 120 para detectar continuamente una posición de la base del robot 111 con respecto al entorno E. Esto se utiliza para ajustar el movimiento del efector terminal, por ejemplo, ajustando la postura del brazo del robot, en la etapa 360 para garantizar que se alcance la posición de destino.

En este sentido, la base del robot puede experimentar un movimiento involuntario con respecto al entorno E, ya sea debido a un cambio en el entorno o debido a un movimiento inesperado de la base del robot, como resultado de vibraciones o carga de viento de la barra, o similares. Dichos movimientos significan que la base del robot puede no proporcionarse en una posición esperada con respecto al entorno, por ejemplo, como resultado de que la base del robot 111 se desvíe de la trayectoria calculada de la base del robot. En este ejemplo, al monitorear el movimiento de la base del robot 111, dichos movimientos se pueden corregir, asegurando que el efector terminal se mueva correctamente a lo largo de la trayectoria del efector terminal hasta la posición de destino.

Por lo tanto, en un ejemplo, se utiliza un accionador de base de robot para proporcionar un sistema de posicionamiento grueso, mientras que el brazo de robot proporciona un sistema de posicionamiento fino para permitir que un efector terminal se posicione con precisión en relación con el entorno. El funcionamiento está controlado por un sistema de control que utiliza un sistema de seguimiento para medir una posición y opcionalmente la orientación de la base del robot en tiempo real, con una posición (y orientación) medida de la base del robot que se utiliza para calcular un desplazamiento que se añade como una transformación de posición a la posición relativa del mecanismo de posicionamiento fino para que el efector terminal se coloque correctamente con respecto al entorno. Por lo tanto, se puede usar una estructura grande y relativamente ligera y flexible para posicionar aproximadamente un mecanismo de posicionamiento fino rápido y preciso, que se puede controlar con precisión en tiempo real permitiendo que un efector terminal se mueva con respecto a un entorno en un movimiento preciso y rápido.

El solicitante se refiere a esta forma de operación como tecnología de estabilización dinámica (DST - *Dynamic Stabilisation Technology*) y se describe en publicaciones anteriores que incluyen US8166727, WO2009/026641, WO2009/026642, WO2018/009981 y WO2018/009986.

También se apreciará que la DST también se puede utilizar para tener en cuenta el movimiento intencional de la base del robot, por ejemplo, para tener en cuenta el hecho de que la base del robot 111 puede estar atravesando una trayectoria del robot mientras se realiza una interacción.

Para que la DST funcione correctamente, es deseable poder rastrear con precisión la posición y la orientación de la base del robot. Si bien un sistema de seguimiento genérico se describe anteriormente, se apreciará que esto no es necesariamente capaz de rastrear con precisión la orientación y, en particular, la inclinación de la base del robot. Por consiguiente, ahora se describirá un ejemplo de un sistema de seguimiento mejorado con referencia a la Figura 4.

Para el propósito de este ejemplo, se hace referencia a una base de robot similar a la descrita anteriormente con respecto a las Figuras 1A a 1C, y se utilizan números de referencia similares aumentados en 300 para indicar características similares, que, por lo tanto, no se describirán en detalle. Sin embargo, aunque el siguiente ejemplo se describe con respecto al seguimiento de una base de robot con respecto a un entorno, se apreciará a partir de lo siguiente que el sistema de seguimiento podría aplicarse en una amplia gama de escenarios diferentes y podría usarse para rastrear una amplia gama de objetos diferentes, no solo bases de robot. Por consiguiente, la referencia a bases de robot no pretende ser limitativa, y se apreciará que en la práctica las técnicas descritas en este documento podrían usarse para rastrear una amplia gama de objetos diferentes que experimentan movimiento con respecto a un entorno.

En este ejemplo, el sistema de seguimiento incluye una base de seguimiento 450 que se proporciona en el entorno y un sistema diana 460 que está unido al objeto, y en particular la base de robot 411.

La base de seguimiento 450 incluye típicamente al menos tres cabezales de seguimiento 451.1, 451.2, 451.3, montados en un soporte de cabezal de seguimiento 452. El soporte 452 se puede usar para ayudar a mantener los cabezales de seguimiento en una posición relativa fija, lo que a su vez puede ayudar a interpretar las señales de los cabezales de seguimiento y, por lo tanto, a determinar la posición y orientación de la base del robot 411. El soporte 452 puede ser de cualquier forma apropiada, pero en un ejemplo es una plataforma soportada por las patas 453, lo que permite que la plataforma se eleve dentro del entorno y, por lo tanto, garantiza que la línea de visión se pueda mantener entre los cabezales de seguimiento y el sistema diana. Sin embargo, se apreciará que esto no es esencial y que se podría usar cualquier soporte dependiendo de la implementación preferida.

Cada cabezal de seguimiento 451.1, 451.2, 451.3 incluye típicamente una fuente de radiación para enviar un haz de radiación a una diana respectiva y un sensor base que detecta la radiación reflejada. Se conocen ejemplos de cabezales de seguimiento y están disponibles comercialmente, como el rastreador láser API Radian, y, por lo tanto, el funcionamiento de los cabezales de seguimiento no se describirá con más detalle.

La base de seguimiento 450 también incluye al menos un accionador de cabezal de seguimiento que controla una orientación de los cabezales de seguimiento y al menos un sensor de ángulo de cabezal de seguimiento que supervisa una orientación de los cabezales de seguimiento. Los cabezales de seguimiento se pueden mover colectivamente usando un solo accionador, por ejemplo, moviendo el soporte, en cuyo caso se puede usar un solo sensor y accionador, aunque más típicamente los cabezales de seguimiento se mueven independientemente, en cuyo caso se proporcionan los respectivos accionadores y sensores de ángulo. Se apreciará que en un ejemplo, esto se logra utilizando accionadores y sensores que forman parte de los cabezales de seguimiento disponibles comercialmente. En cualquier caso, se pueden proporcionar actuadores para ajustar una rotación (rumbo o acimut) e inclinación (cabeceo), con los sensores correspondientes.

Como se mencionó anteriormente, el sistema incluye además un sistema diana 460, que incluye al menos tres dianas 461.1, 461.2, 461.3 que están montados en el objeto. Las dianas podrían montarse directamente en el objeto, en este caso la base del robot, aunque más típicamente las dianas están montadas en un soporte de diana, como se describirá con más detalle a continuación.

Cada diana incluye un reflector (por ejemplo, un retrorreflector montado esféricamente (SMR - *Spherically Mounted Retroreflector*)) que refleja el haz de radiación (por ejemplo, láser) al sensor base del cabezal de seguimiento respectivo 451.1, 451.2, 451.3. Se observará que cada diana también puede incluir un sensor de diana que detecta un haz de radiación de un cabezal de seguimiento respectivo 451.1, 451.2, 451.3, aunque esto puede no ser necesario si la diana es un instrumento pasivo que no rastrea mutuamente el cabezal de seguimiento.

Opcionalmente, se proporciona al menos un accionador de diana que controla una orientación de las dianas y se proporciona al menos un sensor de ángulo diana que monitorea la orientación de las dianas. Si bien las dianas se pueden mover de forma independiente, más típicamente las dianas se mueven colectivamente utilizando un solo accionador, con un solo sensor de ángulo. Además, aunque se podrían proporcionar accionadores para ajustar una rotación (rumbo) e inclinación (actitud), más típicamente solo se requiere rotación como resultado de que la base del robot 411 funcione en un intervalo vertical limitado. En un ejemplo adicional, es posible que no se requiera el movimiento de las dianas, en cuyo caso es posible que no se requieran los actuadores de dianas y los sensores de ángulo, como se describirá con más detalle a continuación.

Se proporciona un controlador 430, que típicamente incluye un procesador 431 y una memoria 432. El controlador 430 está configurado para hacer que cada cabezal de seguimiento rastree una diana respectiva a medida que se mueve por todo el entorno. El controlador 430 determina a continuación una posición de cada diana con respecto a un cabezal de seguimiento respectivo, al menos en parte, utilizando señales de cada sensor base; y, el al menos un sensor de ángulo del cabezal de seguimiento. Luego, el controlador 430 determina una orientación del sistema diana utilizando al menos en parte la posición determinada de cada diana; y finalmente la posición y orientación del objeto se determina al menos en parte utilizando la posición y orientación del sistema diana.

Por consiguiente, la disposición descrita anteriormente utiliza múltiples cabezales y dianas de seguimiento para realizar el seguimiento de un objeto, como una base de robot, en relación con un entorno.

Se apreciará que, en contraste con las disposiciones en las que se utiliza un único cabezal de seguimiento y la diana correspondiente, el uso de múltiples cabezales de seguimiento y dianas puede proporcionar una mayor precisión posicional y/o permitir que la información de orientación se derive matemáticamente. De esta manera, la orientación no se mide directamente, sino que se calcula a partir de los datos de posición. Esto supera los problemas con los sistemas de medición de orientación existentes que utilizan cámaras y similares para obtener imágenes de dianas y luego realizar un procesamiento de imágenes que introduce latencia en las mediciones.

En un ejemplo particular, a través de una configuración adecuada de los cabezales de seguimiento y/o dianas, la disposición anterior puede permitir que una posición de un objeto, tal como una base de robot, se determine con seis grados de libertad, incluyendo la determinación de una posición de coordenadas X, Y, Z y la determinación de la orientación de cabeceo, guiñada y balanceo.

Típicamente, la posición de cada diana se determina usando una medición de distancia obtenida del sensor de base y ángulos de elevación y acimut obtenidos del al menos un sensor de ángulo de cabezal de seguimiento. Además, las señales de un sensor de base de un cabezal de seguimiento respectivo se utilizan para controlar el al menos un accionador de cabezal de seguimiento para garantizar que el cabezal de seguimiento rastree la diana a medida que se mueve por todo el entorno.

Típicamente, con el fin de realizar interacciones dentro de un entorno, es deseable obtener la posición y orientación del objeto en un sistema de coordenadas del entorno. En el caso de un robot de albañilería, esto puede representar un sistema de coordenadas de losa de construcción en el que se proporciona una posición ideal de un cabezal de albañilería y aplicación de adhesivo del robot para colocar un ladrillo en una posición y orientación deseadas con respecto a la losa.

Típicamente, la posición de cada diana se determina con respecto a un sistema de coordenadas local del cabezal de seguimiento respectivo. En un ejemplo, un primer cabezal de seguimiento define un sistema de coordenadas de la base de seguimiento y las mediciones de posición de al menos un segundo y tercer cabezal de seguimiento se transforman en el sistema de coordenadas de la base de seguimiento utilizando datos de calibración del rastreador. En consecuencia, la posición de cada diana se especifica en el mismo sistema de coordenadas. Los datos de calibración del rastreador generalmente definen la relación geométrica entre los sistemas de coordenadas locales de cada cabezal de seguimiento respectivo y se pueden obtener haciendo que cada cabezal de seguimiento inspeccione las mismas dianas colocadas en el entorno.

El sistema de control generalmente determina la posición de cada diana en un sistema de coordenadas del entorno utilizando datos de calibración del entorno. Por lo general, los datos de calibración del entorno definen la relación geométrica entre el sistema de coordenadas de la base de seguimiento y el sistema de coordenadas del entorno. En el caso de un robot de albañilería, esto puede definir el desplazamiento (en traslación y rotación) entre el sistema de coordenadas de la base del seguidor y un sistema de coordenadas de la losa de construcción.

La posición de cada diana en el sistema de coordenadas del entorno se utiliza para definir los vectores de posición y se calcula un producto vectorial cruzado para definir un vector normal a un plano del sistema diana que define la orientación del sistema diana en el sistema de coordenadas del entorno. Luego, la posición y orientación del sistema diana se transforma en la posición y orientación del objeto utilizando datos de calibración del sistema diana que definen la relación geométrica entre el sistema diana y el objeto.

En un ejemplo alternativo, cada cabezal de seguimiento está calibrado en relación con el sistema de coordenadas del entorno de tal manera que el sistema de control transforma los datos de posición de cada cabezal de seguimiento directamente en el sistema de coordenadas del entorno.

Por lo general, el sistema de control compara la posición y orientación determinadas del objeto con una posición y orientación deseadas del objeto y calcula un vector de compensación de acuerdo con los resultados de la comparación. Este vector de compensación puede ser utilizado por el sistema de control para corregir la postura del objeto con el fin de realizar la interacción en el entorno según lo programado.

A continuación se describirán varias características adicionales con referencia a un ejemplo específico de un sistema de seguimiento configurado para su uso en una máquina de colocación de ladrillos o bloques, como se muestra en las Figuras 5A a 5C.

En este ejemplo, se proporciona un cabezal de colocación de bloques y aplicación de adhesivo 510 de una máquina de colocación de bloques robótica que tiene una base de robot 511, un brazo de robot 512 y un efector terminal 513. La base de robot 511 se une típicamente a un accionador de base de robot, tal como el extremo de una barra, de una manera similar a la descrita anteriormente con respecto a las Figuras 1B y 1C.

En este ejemplo, un sistema diana 560 está montado en la base del robot 511 que permite rastrear una posición y orientación de la base del robot en relación con un entorno E. El sistema de seguimiento incluye además una base de seguimiento 550 que tiene una plataforma 552 soportada por las patas 553. La barra suele ser una barra giratoria que se monta en la base de un camión y que es telescópicamente extensible y plegable.

En este ejemplo, la base de seguimiento típicamente incluye tres cabezales de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3 con el sistema diana 560 que incluye tres dianas correspondientes 561.1, 561.2, 561.3. El uso de tres cabezales de seguimiento y tres dianas es particularmente útil ya que esto permite la determinación de la posición y orientación de la base del robot 511, con seis grados de libertad, aunque esto no es esencial y, alternativamente, se podrían proporcionar otros números de cabezales de seguimiento y/u dianas dependiendo de la implementación preferida.

Por ejemplo, se podría usar un único cabezal de seguimiento con tres dianas. Sin embargo, esto requiere que el cabezal de seguimiento escanee cada diana consecutivamente, lo que resulta en una tasa de muestreo significativamente menor para cada diana, tanto debido al tiempo necesario para reenfoque el cabezal de seguimiento y adquirir la diana, como también en virtud del hecho de que las dianas se muestrean con menos frecuencia. Se apreciará que, por lo tanto, esto no produciría el mismo grado de precisión y también tendrá una latencia significativamente mayor, lo que lo hace menos útil para aplicaciones como DST.

Como se mencionó anteriormente, las dianas 561.1, 561.2, 561.3 se proporcionan en posiciones diana relativas fijas con los cabezales de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3 que también se proporcionan en posiciones de cabezal de seguimiento relativas fijas. Esto permite que el sistema de control determine la posición y orientación del objeto de acuerdo con la diana relativo fijo y las posiciones del cabezal de seguimiento.

En un ejemplo particular, las dianas 561.1, 561.2, 561.3 están separados en dos dimensiones con los cabezales de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3 separados en una sola dimensión, aunque se podrían usar otras configuraciones,

como separar los cabezales de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3 en dos dimensiones. La utilización de al menos una de las dianas o cabezales de seguimiento separados en dos dimensiones permite determinar el cabeceo, guiñada y balanceo del objeto con respecto al entorno, permitiendo así el seguimiento de más de seis grados de libertad.

5 Se apreciará que se podrían utilizar diferentes configuraciones y, en particular, diferentes separaciones de los cabezales de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3 y las dianas 561.1, 561.2, 561.3, dependiendo de la implementación preferida. En particular, esto dependerá de factores, tales como el grado de precisión requerido, restricciones de tamaño, factores ambientales o similares. Por ejemplo, un mayor espaciamiento de las dianas y los cabezales de seguimiento permite lograr un mayor grado de resolución. Sin embargo, esto aumentará la magnitud general de la base de seguimiento y la disposición de la diana, lo que lo hará inadecuado para algunas aplicaciones y potencialmente conducirá a problemas como un mayor impacto de perturbaciones exteriores, como vibraciones, carga de viento o similares.

15 Además, una mayor separación de los cabezales de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3 o las dianas 561.1, 561.2, 561.3 aumentará el efecto de la expansión térmica del soporte respectivo, lo que conducirá a un mayor movimiento relativo de los cabezales u dianas de seguimiento para una cantidad dada de expansión térmica, que a su vez puede hacer que las mediciones sean menos precisas.

20 Por consiguiente, teniendo en cuenta estos factores, en un ejemplo particular, los cabezales de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3 están separados entre 100 mm y 1000 mm, entre 250 mm y 750 mm y aproximadamente 500 mm, con un espaciado similar utilizado para las dianas 561.1, 561.2, 561.3. Sin embargo, esto no es esencial y se podrían utilizar otras disposiciones dependiendo de la implementación preferida.

25 En un ejemplo, las múltiples dianas 561.1, 561.2, 561.3 están montados en un soporte de diana. Se apreciará que esto no es esencial y, alternativamente, las dianas podrían unirse directamente al objeto. Sin embargo, el montaje de las dianas 561.1, 561.2, 561.3 en un soporte de diana separado garantiza que se mantenga una configuración deseada de dianas, y también permite que las dianas 561.1, 561.2, 561.3 se muevan colectivamente.

30 En las Figuras 6A a 6D, se muestra un ejemplo de esto con más detalle.

35 En este ejemplo, las múltiples dianas 561.1, 561.2, 561.3 se montan en un plano y se separan en dos dimensiones con el soporte de la diana formado a partir de un marco triangular 562, con una diana montada cerca de cada vértice del marco. Si bien no es esencial, esta disposición es particularmente beneficiosa ya que garantiza que las dianas 561.1, 561.2, 561.3 estén igualmente separadas entre sí. Esto también minimiza un volumen de material presente en el soporte de diana, al tiempo que mantiene una forma rígida, lo que puede reducir los impactos de fuerzas exteriores, como la carga de viento, al tiempo que permite que las dianas mantengan una configuración relativa fija predefinida.

40 Además, en este ejemplo, el sistema diana 560 está montado en un mástil 514 que se proyecta hacia arriba desde la base del robot 511. Un extremo del mástil 514 está unido a un montaje de diana 564, que incorpora un motor de accionamiento del accionador de diana, lo que permite que se realice la rotación del sistema diana. El sistema diana incluye un soporte 563 que une el marco triangular 562 al motor de accionamiento.

45 Por lo tanto, en este ejemplo, el soporte de diana 562 puede montarse de forma giratoria en el objeto, permitiendo que el sistema de control controle el accionador de diana para girar el soporte de diana de acuerdo con la posición de cada diana 561.1, 561.2, 561.3 con respecto a la base de seguimiento 550, garantizando así que las dianas 561.1, 561.2, 561.3 estén orientadas hacia la base de seguimiento.

50 En este ejemplo, las dianas 561.1, 561.2, 561.3 solo giran alrededor de un solo eje, correspondiente al eje  $Z_{RB}$  del sistema de coordenadas base del robot  $RBCS$ , para cambiar así un rumbo de las dianas. Esto se debe al hecho de que en el ejemplo actual la base del robot 511 puede experimentar un movimiento lateral significativo en relación con la base de seguimiento 550, pero típicamente experimentará solo un movimiento vertical mínimo, lo que significa que las dianas pueden rastrearse sin cambiar una actitud o inclinación de las dianas. Sin embargo, se apreciará que esto no es esencial y, alternativamente, el soporte de diana podría adaptarse para girar alrededor de múltiples ejes utilizando una configuración de accionador adecuada.

55 En un ejemplo, los cabezales de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3 están montados en un soporte de cabezal de seguimiento en forma de una plataforma 552, que en un ejemplo, está soportada en una posición elevada a través de una o más patas 553. En un ejemplo, la plataforma se eleva a una altura que es al menos una de entre 2 m y 4 m, entre 2 m y 3 m y al menos 2,5 m. Esto se puede utilizar para garantizar que la plataforma se eleve a una altura que sea suficiente para garantizar que se mantenga la línea de visión entre los cabezales de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3 y las dianas 561.1, 561.2, 561.3, independientemente de los obstáculos en el entorno, incluidas las paredes parcialmente construidas de una estructura de edificio.

65 Un ejemplo específico de una disposición de soporte se describirá ahora con más detalle con referencia a las Figuras 7A a 7H.

En este ejemplo, la plataforma 552 es una plataforma rectangular, con una pata 553 que se extiende desde cada esquina, aunque se apreciaría que se podrían usar otras disposiciones, como la disposición de "trípode" de tres patas.

5 La plataforma 552 incluye un núcleo de plataforma estructural interior y un escudo térmico de plataforma exterior separado del núcleo de plataforma. Las patas y los cabezales de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3 están montados en el núcleo de la plataforma, y el escudo térmico se utiliza para proteger el núcleo de la plataforma y, por lo tanto, reducir la expansión térmica, lo que puede influir indebidamente en el posicionamiento relativo de los cabezales de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3.

10 Los efectos de la expansión térmica pueden reducirse adicional y/o alternativamente utilizando otras estrategias, que incluyen, pero no se limitan al uso de materiales con un bajo coeficiente de expansión térmica, tales como fibra de carbono, o similares, o el uso de recubrimientos resistentes al calor o reflectantes, tales como pinturas cerámicas. En otro ejemplo, el control activo de la temperatura podría realizarse haciendo circular un medio de transferencia de calor, tal como agua o similares, a través de la estructura para mantener una temperatura fija.

15 En un ejemplo, cada pata 553 incluye al menos un miembro de pata con cada pata 553 que incluye típicamente un par de miembros de pata superior espaciados paralelos 554.1, mantenidos en posición a través de los respectivos conectores 554.5, 554.6 proporcionados cerca de cada extremo, con un soporte de conexión superior montado de forma articulada en el núcleo de la plataforma 554.5. Un único miembro de pata inferior 554.2 está montado de forma deslizable dentro del soporte de conexión inferior 554.6, entre los miembros de pata superior 554.1. El miembro de pata inferior 554.2 también puede incluir un miembro de guía 554.7 unido cerca de un extremo superior del miembro de pata inferior, que está montado de forma deslizable en los miembros de pata superior 554.1 para permitir que la pata inferior 554.2 se deslice con respecto a los miembros de pata superior 554.1.

20 Esta configuración permite que las patas 553 se extiendan, con la plataforma 552 incluyendo opcionalmente un indicador de nivelación, tal como un nivel de burbuja y/o blanco, permitiendo que las patas se extiendan para proporcionar así la plataforma en una orientación nivelada con respecto al entorno.

25 Cada miembro de pata 554.1, 554.2 típicamente incluye un tubo de pata estructural interior 554.11 y un protector térmico de pata exterior 554.12, con el protector térmico de pata actuando para evitar la expansión térmica del tubo de pata estructural, que a su vez puede ayudar a evitar el movimiento de la plataforma, por ejemplo, como resultado de la expansión térmica diferencial de las patas. Separar el blindaje térmico del núcleo también permite el flujo de aire entre el núcleo y el blindaje, lo que puede ayudar a mantener una temperatura del núcleo constante y, por lo tanto, mitigar la expansión térmica.

30 Esta disposición es particularmente beneficiosa ya que puede proporcionar un alto grado de resistencia mientras se mantiene una configuración de peso ligero, evitando que las patas y plataformas se muevan bajo carga de viento, expansión térmica o similares.

35 A continuación se describirán varias características adicionales.

40 Cada cabezal de seguimiento puede montarse de forma giratoria en la plataforma, lo que permite que el sistema de control controle un accionador de base de seguimiento asociado con cada cabezal de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3 para girar los cabezales de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3 de acuerdo con la posición relativa de cada diana respectiva, rastreando así las dianas 561.1, 561.2, 561.3 a medida que se mueven en el entorno.

45 Si bien el montaje puede permitir únicamente la rotación alrededor del eje  $Z_{RB}$ , para cambiar un rumbo de las bases de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3, más típicamente los cabezales de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3 están montados de forma giratoria en un montaje, que luego se monta de forma giratoria en la plataforma, lo que permite ajustar un cabeceo de los cabezales de seguimiento 551.1, 551.2, 551.3. Sin embargo, más típicamente, los cabezales de seguimiento están montados rígidamente en la plataforma y el o los actuadores de la base de seguimiento que controlan la rotación y el cabeceo del cabezal de seguimiento se proporcionan dentro del propio cabezal (por ejemplo, un rastreador láser típico).

50 En este ejemplo, como se muestra en la Figura 7B, cada cabezal de seguimiento incluye un montaje 556.1, que está unido a la plataforma 552 y soporta una horquilla 556.2 unida de forma giratoria al montaje 556.1. La horquilla soporta además un conjunto de sensor 556.3 que está montada de forma giratoria en la horquilla, lo que permite ajustar un cabeceo del conjunto de detección 556.3. El conjunto de detección incluye una ventana 556.4 que se utiliza para transmitir y recibir haces láser. Por lo tanto, se apreciará que en este caso cada cabezal de seguimiento puede comprender un rastreador láser API Radian o similar.

55 Cada miembro de pata 554.1, 554.2 típicamente incluye piezas de extremo de pata, que incluyen un tapón interior 554.13 que se acopla al tubo de pata 554.11 y un tapón exterior 554.14 que se acopla al protector térmico exterior 554.2. El tapón exterior y el escudo térmico están configurados típicamente de modo que el escudo térmico flote en

los tapones exteriores para acomodar así la expansión térmica del escudo térmico exterior sin alterar la longitud total de la pata.

5 Los soportes de conexión 554.5, 554.6 se pueden unir a las piezas de extremo de pata de los miembros de pata superior, para soportar los miembros de pata en una disposición separada. El conector superior 554.5 incluye un cuerpo 554.51 que está conectado al miembro de pata 554.1, y en particular las piezas de extremo de pata, y que está conectado a un soporte montado 554.52 a través de una bisagra 554.53. Durante el uso, el soporte de montaje 554.52 se conecta a una parte inferior de la plataforma, en particular, utilizando sujetadores que se extienden a través del escudo térmico hasta el núcleo de la plataforma, montando así de forma articulada las patas a la plataforma.

10 De manera similar, el soporte de conexión 554.6 está conectado a las piezas de extremo de pata para soportar los extremos inferiores de los miembros de pata superior 554.1, e incluye una abertura en la que el miembro de pata inferior 554.2 está montado de forma deslizante. El miembro de pata inferior 554.2 también se une a través de una pieza de extremo de pata superior, a la guía 554.7, que incluye aberturas en las que los miembros de pata superior 554.1 se montan de forma deslizante, lo que permite que el miembro de pata inferior se deslice con respecto a los miembros de pata superior 554.1.

15 En un ejemplo, el miembro de pata inferior 554.2 puede estar unido a un pie 554.3 para acoplarse al suelo y puede incluir además un amortiguador 554.4 montado entre el pie y la pata para reducir la transmisión de vibraciones desde el suelo a la plataforma. El amortiguador 554.4 puede incluir una carcasa 554.41, unida a piezas de extremo de pata unidas a un extremo inferior del miembro de pata inferior 554.1. La carcasa 554.41 contiene un eje 554.42, que tiene una brida 554.43 que se extiende lateralmente hacia afuera parcialmente a lo largo de la longitud del eje. La carcasa del amortiguador 554.41 contiene miembros de amortiguación 554.44, tales como almohadillas de goma deformables, resortes o similares, que se colocan por encima y por debajo de la brida 554.43. El eje 554.42 está unido a un acoplamiento 554.45 que luego está unido al pie 554.3 a través de una bisagra 554.31.

20 En este ejemplo, a medida que el eje 554.42 se mueve con respecto a la carcasa 554.41, los miembros de amortiguación 554.44 absorben energía que actúa para amortiguar las vibraciones transmitidas a través del amortiguador. Esto es particularmente importante en entornos como lugares de construcción donde la maquinaria pesada puede causar vibraciones significativas en el suelo con la transmisión de estas a la plataforma y, por lo tanto, los cabezales de seguimiento dan como resultado una incertidumbre e imprecisiones significativas en la medición de la posición y orientación del objeto.

25 Las patas 553 están interconectadas a través de puntales laterales 555. Cada puntal lateral incluye tubos telescópicos interiores y exteriores 555.1, 555.2 que incluyen soportes de extremo 555.3 que se pueden sujetar a las patas respectivas. Se utiliza un miembro de bloqueo 555.4 para bloquear los tubos interior y exterior 555.1, 555.2 en una posición particular para que las patas estén rígidamente soportadas, lo que nuevamente ayuda a evitar el movimiento indebido de las patas.

30 Las disposiciones descritas anteriormente pueden garantizar que, con una carga de viento de hasta 5 metros por segundo, la plataforma experimente una rotación que sea inferior a aproximadamente  $\pm 0,01$  grados,  $\pm 0,05$  grados y, más típicamente,  $\pm 0,001$  grados.

35 Se apreciará a partir de esto que el soporte de la base de seguimiento se puede usar con una amplia variedad de disposiciones de detección diferentes, y no se limita a su uso con un sistema de seguimiento. Por ejemplo, el soporte de la base de seguimiento podría usarse como un trípode de cámara para proporcionar una plataforma altamente estable adecuada para su uso en fotografía de larga exposición, filmación o similar.

40 En este ejemplo, un soporte de sensor para soportar una disposición de detección puede incluir una plataforma que soporta la disposición de detección con la plataforma que incluye un núcleo de plataforma estructural interior y un escudo térmico de plataforma exterior separado del núcleo de plataforma. Se pueden acoplar varias patas extensibles al núcleo de la plataforma que soportan la plataforma en una posición elevada con respecto a un entorno, incluyendo cada pata un par de miembros de pata superior separados paralelos interconectados aproximadamente en cada extremo a través de soportes de conexión con un soporte de conexión superior montado de forma articulada en el núcleo de la plataforma. A continuación, se monta de forma deslizante un único miembro de pata inferior entre los miembros de pata superior dentro de un soporte de conexión inferior, incluyendo cada miembro de pata un tubo de pata estructural interior y un protector térmico de pata exterior.

45 Esta disposición particular proporciona una plataforma que es altamente estable incluso bajo carga de viento y que además experimenta un movimiento mínimo incluso cuando está sujeta a condiciones ambientales cambiantes, tales como cambios en la radiación solar incidente.

50 Un ejemplo de un sistema de control para la disposición descrita anteriormente se describirá ahora con más detalle con referencia a la Figura 8.

65

- 5 En este ejemplo, cada cabezal de seguimiento 551 incluye un láser 851 y el sensor correspondiente 852, que se utiliza para detectar la radiación reflejada. En este caso, el láser 851 y el sensor 852 están conectados a un controlador de láser 853, que controla el funcionamiento del láser 851 e interpreta las señales del haz de láser, por ejemplo, para calcular una distancia entre el cabezal de seguimiento y una diana correspondiente. Los cabezales de seguimiento incluyen además un accionador de rumbo 854, un sensor de rumbo 855 y un controlador de rumbo 856, así como un accionador de cabeceo 857, un sensor de cabeceo 858 y un controlador de cabeceo 859, para controlar un rumbo y un cabeceo respectivamente.
- 10 El sistema diana 560 incluye sensores de diana 861 y opcionalmente controladores correspondientes 862 para cada diana, así como un accionador de rumbo 863, un sensor de rumbo 864 y un controlador de rumbo 865, que pueden controlar un rumbo del sistema diana en función de las señales de los sensores de diana 861. Dicha disposición de dianas puede ser necesaria cuando una o más dianas están montadas en un montaje de panorámico/inclinación controlable. En una disposición de diana pasiva, las dianas se proporcionarían sin controladores o actuadores.
- 15 Se proporciona un controlador 830, que es ampliamente similar al controlador descrito anteriormente con respecto a la Figura 2, y que incluye uno o más dispositivos de procesamiento 831, una o más memorias 832, un dispositivo de entrada/salida 833 y la interfaz 834, que se pueden utilizar para conectar el sistema de control 830 a los cabezales de seguimiento y opcionalmente al sistema diana.
- 20 En uso, el dispositivo de procesamiento 831 ejecuta instrucciones en forma de software de aplicaciones almacenado en la memoria 832 para permitir que se realicen los procedimientos requeridos. En particular, esto generalmente implica recibir señales de los sensores de ángulo y el sensor de base, y usarlas para controlar los accionadores del cabezal de seguimiento 854, 857 y, opcionalmente, el accionador de la diana 863, y calcular la posición y orientación del objeto.
- 25 Cuando se controlan los cabezales de seguimiento 551 y opcionalmente el sistema diana, esta operación se puede realizar únicamente dentro del controlador 830, y o se podría realizar al menos parcialmente dentro del cabezal de seguimiento y la diana. Por ejemplo, el controlador láser 853 podría analizar las señales del sensor y determinar un rumbo y un cabeceo relativos de la diana correspondiente y proporcionar señales al controlador de rumbo y cabeceo 856, 859, permitiendo que el seguimiento se realice únicamente dentro del cabezal de seguimiento.
- 30 De manera similar, en el caso de que las dianas sean dianas activas (por ejemplo, en montajes de desplazamiento y/o inclinación), el controlador de dianas 862 se puede usar para determinar un rumbo de cabezal de seguimiento relativo usando señales del sensor 861, y proporcionar esto al controlador de rumbo 865, permitiendo que se controle el accionador de rumbo.
- 35 En uso, los al menos tres cabezales de seguimiento se calibran en primer lugar para determinar los desplazamientos (tanto de traslación como de rotación) entre los propios cabezales de seguimiento. La calibración se realiza colocando una serie de dianas ópticas (como SMR) en el entorno alrededor de los rastreadores y haciendo que todos los rastreadores miren simultáneamente uno de los SMR. Esto se repite para cada punto de calibración para permitir la determinación de los desplazamientos del rastreador. En el caso de un sitio de construcción, los cabezales de seguimiento se calibran a la losa de construcción mediante al menos un cabezal de seguimiento que toma medidas de las posiciones de SMR colocadas alrededor de la losa para ubicar el plano de tierra de la losa (origen y ejes X, Y). Cuando el robot de colocación de bloques está en funcionamiento y la base del robot (es decir, el cabezal de colocación de bloques y aplicación de adhesivo) se mueve por todo el entorno, el sistema de seguimiento determina los datos de posición indicativos de las posiciones diana medidas de cada diana en un sistema de coordenadas local de cada cabezal de seguimiento. Estas mediciones generalmente se ajustan utilizando los datos de calibración del rastreador y se transforman en un sistema de coordenadas de base de seguimiento para que cada posición se exprese en un sistema de coordenadas comunes. Los datos de posición se transforman en coordenadas de posición en la losa o en el sistema de coordenadas del entorno utilizando los datos de calibración de la losa. Finalmente, la posición de la base del robot se determina utilizando los datos de calibración de la diana (desplazamientos entre el sistema diana y el sistema de coordenadas de la base del robot).
- 40 Estos datos proporcionan la posición de la base del robot en tiempo real (por ejemplo, velocidad de datos de 1 kHz). Se determinan al menos tres coordenadas posicionales que son suficientes para definir un plano que permita determinar un vector normal que defina la orientación del plano en el espacio 3D (y, por lo tanto, la orientación de la base del robot). Al definir un punto como origen, se pueden determinar dos vectores desde el origen hasta los otros dos puntos, respectivamente. El producto cruzado de estos dos vectores proporciona el vector normal al plano.
- 45 La posición y orientación ideal o deseada de la base del robot es conocida y representa la postura necesaria para colocar el siguiente bloque en la posición correcta. La traslación y la rotación necesarias para pasar de la postura real a la postura deseada se calculan utilizando cualquier técnica adecuada para alinear vectores en el espacio 3D. La transformación de rotación se determina típicamente utilizando una matriz euclidiana o cuaterniones o una combinación de ambos. Las representaciones de las rotaciones por cuaterniones son más compactas y más rápidas de calcular que las representaciones por matrices y, a diferencia de los ángulos de Euler, no son susceptibles al
- 50
- 55
- 60
- 65

"bloqueo de cardán".

La diferencia determinada (es decir, la transformación) devuelve un vector 6DOF que representa la posición 3DOF y la transformación de rotación 3DOF requerida para moverse a la postura deseada. Estos datos se pueden introducir en el sistema de control como una entrada de compensación, por ejemplo, para implementar la estabilización dinámica (DST) como se describió anteriormente.

Se debe apreciar que a medida que aumenta la separación de las dianas (es decir, el tamaño del triángulo), aumenta la precisión de la orientación a medida que el plano definido por los tres puntos se define con mayor precisión. Sin embargo, una separación más grande puede requerir una estructura de soporte más grande que debe ser rígida y podría estar sujeta a una mayor vibración que puede reducir la precisión de la medición.

En los ejemplos descritos anteriormente, las dianas se montan en el soporte de diana, que luego se puede girar de modo que las dianas rastreen colectivamente la posición de los cabezales de seguimiento. Sin embargo, esto no es esencial y, alternativamente, las dianas se pueden montar de forma independiente. Ejemplos de esto se describirán ahora con más detalle con referencia a las Figuras 9A a 10B.

En estos ejemplos, se proporciona una base de robot 911, que incluye un brazo de robot 912 y un efector terminal 913. Se apreciará que esta disposición es generalmente similar a los ejemplos descritos anteriormente y, por lo tanto, no se describirá con más detalle.

En el ejemplo de la Figura 9A, tres dianas, tales como SMR, están montados en la base 911 y son operables para desplazarse alrededor de un eje de desplazamiento. Las dianas están montadas en un plano y separadas en dos dimensiones, de una manera similar a la descrita anteriormente con respecto al soporte de la diana. En este ejemplo, las dianas se montan utilizando montajes respectivos, cada uno de los cuales gira para rastrear el haz láser desde un cabezal de seguimiento respectivo.

En el ejemplo de la Figura 9B, se utilizan dianas estáticas, tales como SMR, que simplemente se fijan al robot. En este caso, cada diana tiene un campo de visión de aproximadamente 90 grados, lo que significa que si la diana cambia de orientación en más de 90 grados, ya no podrá funcionar. Por consiguiente, en este ejemplo, tres dianas 961.1 están montados en una cara frontal de la base de robot 911, mientras que tres dianas 961.2 están montados en una cara lateral de la base de robot 911. También se apreciará que tres dianas (no mostradas) también pueden montarse en una segunda cara lateral. En cada caso, las dianas están dispuestas de manera que estén separadas en al menos dos dimensiones, aunque se apreciará que la configuración particular dependerá de la construcción física de la base del robot. En cualquier caso, en este caso, a medida que la base del robot gira con respecto a los cabezales de seguimiento, a medida que un conjunto de dianas se mueve fuera del campo de visión de los cabezales de seguimiento, los cabezales de seguimiento deben reenfocarse en un conjunto diferente de dianas. Esto significa que la recopilación de datos de posición y orientación se interrumpe, lo que a su vez significa que el seguimiento no se puede realizar de forma continua. En consecuencia, en esta situación, puede ser necesario controlar este procedimiento para que se produzca el cambio a una diana diferente durante una fase no crítica de la operación. Por ejemplo, en el caso de colocar un ladrillo, puede ser necesario cambiar entre dianas entre las operaciones de colocación de ladrillos, como cuando se recupera un ladrillo, y no durante la operación de colocación. Alternativamente, se puede utilizar un cabezal de seguimiento adicional para garantizar que se realice un seguimiento continuo de al menos tres dianas en todo momento y que las dianas se desplacen de una en una sin interrupción del seguimiento.

Por consiguiente, las estrategias descritas anteriormente hacen uso de los sistemas de seguimiento láser existentes, como un API Radian o Leica AT960, que ya admiten la salida de datos a intervalos de 1 kHz o 1 ms con baja latencia. El sistema funciona midiendo la posición de múltiples, y más típicamente, al menos tres dianas, que se proporcionan en una configuración de diana definida, para permitir que la posición y la orientación se midan con mayor precisión. La adición de rastreadores y dianas adicionales mejora la precisión al aumentar el número de puntos de datos para un mejor ajuste.

Por ejemplo, a una distancia de 30 m para un rastreador API OT2, la precisión volumétrica típica de la medición de posición OT2 es de aproximadamente 0,165 mm. Parte del error se debe a la precisión angular de  $3,5^{\circ}/m$  y en parte a la precisión de la distancia de  $\pm 15mm + 0,7mm/m$ . Esto se debe en parte a las variaciones atmosféricas y, por lo tanto, las condiciones son similares para tres rastreadores diferentes con trayectorias de haz cercanas y los tres rastreadores tienden a dar mediciones similares mucho más cercanas que el error teórico de 0,165 mm. Las dimensiones de la configuración de la diana son conocidas y, por lo tanto, la posición y la orientación de las dianas pueden adaptarse mejor para minimizar el error de cada rastreador individual, lo que resulta en una medición precisa de la posición y la orientación.

En un ejemplo particular, si tres dianas están montadas en una configuración de triángulo equilátero, que mide 600 mm en cada lado, a un intervalo de 30 m, el error de posición es de aproximadamente 0,05 mm y el error de orientación es de aproximadamente 0,003 grados. El error de orientación también se puede reducir aún más aumentando el tamaño de la diana triangular como se discutió anteriormente.

Por ejemplo, el tamaño del área de la diana triangular se puede aumentar montando cada diana en su propio montaje accionado, permitiendo que las dianas se muevan de forma independiente. Sin embargo, en algunos escenarios de uso, esto adolece del inconveniente de que a menudo es difícil mantener la línea de visión entre los cabezales de seguimiento y las dianas, lo que significa que esta disposición puede no ser práctica en todas las circunstancias. Otra opción es montar rígidamente múltiples dianas en la base del robot. Sin embargo, nuevamente los cabezales de seguimiento deben mantener la línea de visión de las dianas o estar programados para cambiar a dianas alternativas si se pierde la línea de visión o se va a perder. Si bien esto puede resultar en una pérdida de seguimiento, el impacto de esto puede minimizarse cambiando entre dianas en un momento apropiado, o utilizando más cabezales de seguimiento, de modo que los cabezales de seguimiento puedan cambiar entre dianas en diferentes momentos, de modo que tres cabezales de seguimiento estén operativos en cualquier momento.

En una realización preferida de la invención, los cabezales de seguimiento están montados en una base que incluye una plataforma soportada en una posición elevada por una serie de patas. En un ejemplo, la plataforma puede orientarse diagonalmente a una línea de visión a un punto medio del área de trabajo para que todos los rastreadores mantengan la línea de visión a las dianas en toda el área de trabajo. De manera adicional y/o alternativa, la plataforma puede configurarse para girar de modo que los cabezales de seguimiento puedan rastrearse a través de un intervalo mayor sin interferir entre sí.

En otro ejemplo, los cabezales de seguimiento pueden estar desplazados verticalmente, lo que puede ayudar a mantener la línea de visión. Esto se puede lograr utilizando una plataforma en ángulo o escalonada de modo que los cabezales de seguimiento estén desplazados vertical y horizontalmente, o se podría lograr espaciando los cabezales de seguimiento verticalmente uno encima del otro, lo que puede ayudar a mantener la línea de visión, a expensas de hacer que la estructura de soporte sea más compleja.

La desviación térmica de la estructura de montaje puede introducir errores de medición. En consecuencia, en un ejemplo, la desviación térmica se minimiza construyendo el soporte, incluida la plataforma y/o las patas, a partir de materiales de baja expansión térmica como Invar o fibra de carbono. La estructura de montaje puede estar provista de un recubrimiento reflectante del calor, como una pintura cerámica blanca y/o puede estar provista de protección térmica para minimizar los efectos térmicos. En un ejemplo particular, se proporciona una protección contra el calor que está físicamente separada de un núcleo, lo que permite el flujo de aire y, por lo tanto, la ventilación entre la protección contra el calor y el núcleo, lo que ayuda a mantener una temperatura uniforme.

En un ejemplo adicional, también es posible hacer circular un medio de transferencia de calor, tal como agua o fluido de enfriamiento, a través de la estructura para mantener una temperatura uniforme y/o calentar o enfriar la estructura para mantener una temperatura constante. También es posible construir una estructura de compensación térmica usando longitudes largas de material de baja expansión que se compensan mediante longitudes cortas direccionalmente opuestas de material de alta expansión a la manera de un péndulo de rejilla.

En cualquier caso, al montar las tres dianas en un marco que se gira (guiñada o panorámica) por un motor, la orientación de las dianas se puede optimizar y las dianas se pueden mostrar a los cabezales de seguimiento, incluso cuando la base se monta para cambiar la orientación. Se apreciará que para muchas aplicaciones, el intervalo de movimiento vertical de la base del robot es limitado, lo que significa que las dianas no necesitan girarse alrededor de un eje horizontal, por ejemplo, para cambiar una elevación, inclinación o actitud, pero esto no es esencial, y en algunos ejemplos, el seguimiento de la elevación también se puede realizar, utilizando una disposición de desplazamiento e inclinación.

Un ejemplo adicional de un sistema de seguimiento se describirá ahora con referencia a las Figuras 10A a 10B, 11A a 11C y 12.

En este ejemplo, se proporciona un cabezal de colocación de bloques y aplicación de adhesivo 1010 que se monta en el extremo de la barra 1102 que, a su vez, se monta en una pista 1101. El cabezal de colocación de bloques y aplicación de adhesivo 1010 forma parte de una máquina de colocación de bloques robótica 1100. El cabezal de colocación de bloques y aplicación de adhesivo 1010 incluye un brazo robótico 1012 y un efector terminal 1013 montado en una base de robot 1011 que se une a la barra 1102. Un soporte de diana rígido 1060 está montado en el lado del cabezal 1010 cerca de la base del robot 1011. Dos dianas (por ejemplo, SMR) 1061.1, 1061.2 se fijan a los vértices del soporte 1061 como se muestra en las Figuras 10A y 10B. Una tercera diana (por ejemplo, SMR) 1061.3 se fija a una parte de la base del robot 1011. Juntas, las tres dianas definen un triángulo y están dispuestas en un plano. El espaciado indicativo de las dianas se muestra en la Figura 10B que varía de alrededor de 600-825 mm.

La base de seguimiento 1050 se muestra en las Figuras 11A a 11C. En este ejemplo, la base de seguimiento 1050 incluye tres cabezales de seguimiento 1051.1, 1051.2, 1051.3 (tales como rastreadores láser API Radian) que están montados en una plataforma o soporte 1052 que es una estructura tubular alargada dispuesta horizontalmente con respecto a un piso o superficie de losa. Los cabezales de seguimiento 1051.1, 1051.2, 1051.3 están separados aproximadamente 500 mm y están dispuestos a lo largo de un eje común. Como se muestra en la Figura 11B, el

cabezal de seguimiento 1051.3 está montado en un montaje de plataforma 1052.1 a través de los anillos interior y exterior 1052.2 y 1052.3. El anillo interior 1052.2 está montado en la plataforma a través de tornillos y arandelas 1052.4, 1052.5.

5 Tres patas tubulares alargadas 1053 dependen hacia abajo de la plataforma 1052 en una configuración de trípode. Un par de patas exteriores 1053 están unidas a la plataforma 1052 y una tercera pata interior 1053 está montada de forma giratoria en la plataforma 1052 permitiendo que la base de seguimiento 1050 se pliegue en una configuración sustancialmente plana para el transporte. Las patas tubulares incluyen un accesorio de manguera 1056 y una válvula 1057 operable para permitir que cada pata 1053 esté al menos parcialmente llena de agua como se muestra en la  
10 Figura 11C. Esto proporciona una mayor estabilidad a la estructura, así como proporciona un sistema de enfriamiento para controlar la expansión térmica de la estructura. Cada una de las patas termina en una punta de contacto con el suelo 1054.

15 Las patas 1052 y la plataforma 1052 están hechas típicamente de fibra de carbono que proporciona excelentes propiedades de rigidez, peso y expansión térmica, aunque pueden usarse otros materiales similares. La base de seguimiento tiene aproximadamente 2,9 m de altura para proporcionar una línea de visión entre los cabezales de seguimiento y las dianas a través de la envolvente de construcción.

20 En la Figura 12 se muestra un diseño de ejemplo del sistema de seguimiento en el que la base de seguimiento 1050 se proporciona cerca del eje de giro de la barra 1102, lo que ayuda a mantener la línea de visión hacia el sistema diana 1060 a medida que el cabezal de colocación de bloques y aplicación de adhesivo 1110 se mueve a través de la envoltura de construcción requerida para construir la casa 1200.

25 El sistema descrito anteriormente se puede utilizar en una amplia variedad de aplicaciones, que incluyen, pero no se limitan a, construcción, transferencia de barcos, construcción larga, zanjas largas, contorneado del suelo, minería, dragado, plataformas de trabajo elevadas, robots suspendidos de cables, aplicaciones muy precisas, construcción de edificios de varios pisos y/o de gran altura, o similares.

30 Se describen más detalles de la tecnología de los solicitantes en las publicaciones de patentes y en las solicitudes pendientes de tramitación US8166727, PCT/AU2008/001274, PCT/AU2008/001275, PCT/AU2017/050731, PCT/AU2017/050730, PCT/AU2017/050728, PCT/AU2017/050739, PCT/AU2017/050738, PCT/AU2018/050698, AU2017902625, AU2017903310, AU2017903312, AU2017904002, AU2017904110, PCT/AU2018/050698, AU2018902566, AU2018902557, PCT/AU2018/050733, PCT/AU2018/050734, PCT/AU2018/050740, PCT/AU2018/050737 and PCT/AU2018/050739.  
35

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de seguimiento (120) para rastrear una posición y orientación de un objeto (122, 411, 511, 1011), incluyendo el sistema de seguimiento:

a) una base de seguimiento (121,450, 550, 1050) proporcionada en un entorno, la base de seguimiento incluye

i) un soporte de cabezal de seguimiento (452, 552, 1052); y,

ii) al menos tres cabezales de seguimiento (121; 451.1, 451.2, 451.3; 551.1, 551.2, 551.3; 1051.1, 1051.2, 1051.3) montados en el soporte del cabezal de seguimiento, cada cabezal de seguimiento tiene:

(1) una fuente de radiación (851) dispuesta para enviar un haz de radiación a una diana respectiva;

(2) un sensor base (852) que detecta la radiación reflejada;

(3) al menos un actuador del cabezal de seguimiento (854, 857) que controla una orientación del cabezal de seguimiento; y,

(4) al menos un sensor de ángulo del cabezal de seguimiento (855, 858) que monitorea una orientación del cabezal de seguimiento;

b) un sistema diana (460, 560, 1060) que incluye al menos tres dianas (461.1, 461.2, 461.3; 561.1, 561.2, 561.3; 1061.1, 1061.2, 1061.3) montadas en el objeto (122, 411, 511, 1011); cada diana incluye un reflector que refleja el haz de radiación al sensor base de un cabezal de seguimiento respectivo; y,

c) un sistema de control (130, 230, 830), configurado de tal manera que:

i) hace que cada cabezal de seguimiento rastree una diana respectiva a medida que se mueve por el entorno;

ii) determina una posición de cada diana con respecto a un cabezal de seguimiento respectivo, al menos en parte, utilizando señales de:

(1) cada sensor de base; y,

(2) el al menos un sensor de ángulo del cabezal de seguimiento;

iii) determina una orientación del sistema diana utilizando al menos en parte la posición determinada de cada diana; y,

iv) determina la posición y orientación del objeto utilizando al menos en parte la posición y orientación del sistema diana.

2. El sistema de seguimiento según la reivindicación 1, donde la posición de cada diana se determina utilizando una medición de distancia obtenida del sensor de base y los ángulos de elevación y acimut obtenidos del al menos un sensor de ángulo del cabezal de seguimiento; y, opcionalmente, la posición de cada diana es relativa a un sistema de coordenadas local del cabezal de seguimiento respectivo.

3. El sistema de seguimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, donde las señales de un sensor de base de un cabezal de seguimiento respectivo se utilizan para controlar el al menos un accionador de cabezal de seguimiento para garantizar que el cabezal de seguimiento rastree la diana a medida que se mueve por todo el entorno; y, opcionalmente, un primer cabezal de seguimiento define un sistema de coordenadas de base de seguimiento y las mediciones de posición de al menos un segundo y tercer cabezales de seguimiento se transforman en el sistema de coordenadas de base de seguimiento utilizando datos de calibración del rastreador.

4. El sistema de seguimiento según la reivindicación 2, donde al menos uno de:

a) los datos de calibración del rastreador definen la relación geométrica entre los sistemas de coordenadas locales de cada cabezal de seguimiento respectivo; y,

b) el sistema de control determina la posición de cada diana en un sistema de coordenadas del entorno utilizando datos de calibración del entorno.

5. El sistema de seguimiento según la reivindicación 4, donde los datos de calibración del entorno definen la relación geométrica entre el sistema de coordenadas de la base de seguimiento y el sistema de coordenadas del entorno;

y,

opcionalmente, la posición y orientación del sistema diana se transforma en la posición y orientación del objeto utilizando datos de calibración del sistema diana que definen la relación geométrica entre el sistema diana y el objeto.

6. El sistema de seguimiento según la reivindicación 4, donde la posición de cada diana en el sistema de coordenadas del entorno se utiliza para definir vectores de posición y se calcula un producto vectorial cruzado para definir un vector normal a un plano del sistema diana que define la orientación del sistema diana en el sistema de coordenadas del entorno.

- 5 7. El sistema de seguimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde cada cabezal de seguimiento está calibrado con respecto al sistema de coordenadas del entorno, de modo que el sistema de control transforma los datos de posición de cada cabezal de seguimiento directamente en el sistema de coordenadas del entorno.
8. El sistema de seguimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde al menos uno de:
- a) el sistema de control compara la posición y orientación determinadas del objeto con una posición y orientación deseadas del objeto y calcula un vector de compensación de acuerdo con los resultados de la comparación;
  - 10 b) cada diana está montada en un soporte controlado por desplazamiento y/o inclinación operable para ayudar a las dianas a mantener la línea de visión con los cabezales de seguimiento;
  - c) los al menos tres cabezales de seguimiento están separados por al menos uno de:
    - 15 i) 100 mm a 1000 mm;
    - ii) 250 mm a 750 mm; y,
    - iii) alrededor de 500 mm;
  - d) las al menos tres dianas están separadas por al menos uno de:
    - 20 i) 100 mm a 1000 mm;
    - ii) 250 mm a 750 mm; y,
    - iii) alrededor de 500 mm;
  - e) las al menos tres dianas están montadas en al menos uno de los siguientes:
    - 25 i) un soporte de diana; y,
    - ii) directamente sobre el objeto;
  - f) la posición de las múltiples dianas con respecto al objeto es fija;
  - 30 g) las al menos tres dianas están montadas en un plano y separadas en dos dimensiones para formar así una matriz de dianas triangular;
  - h) cada diana es un retrorreflector montado esféricamente (SMR);
  - i) el soporte del cabezal de seguimiento incluye una plataforma y donde los múltiples cabezales de seguimiento están montados rígidamente en la plataforma;
  - 35 j) el soporte del cabezal de seguimiento al menos uno de:
    - i) incluye un sistema de enfriamiento activo;
    - ii) está hecho al menos parcialmente de un material que tiene un bajo coeficiente de expansión térmica; y,
    - 40 iii) está recubierto con un recubrimiento resistente al calor o reflectante del calor; y,
  - k) el objeto es una base de robot que tiene un brazo de robot y un efector terminal montado en ella configurado para realizar una interacción en el entorno, en el que la base de robot experimenta movimiento con respecto al entorno y el sistema de seguimiento mide una posición de la base de robot y determina una orientación de la base de robot con respecto al entorno.
- 45 9. El sistema de seguimiento según la reivindicación 8, donde al menos uno de:
- a) el soporte de diana es al menos uno de los siguientes:
    - 50 i) montado de forma giratoria en el objeto; y,
    - ii) fijo con respecto al objeto;
  - b) el soporte de diana incluye un marco triangular, con una diana montada cerca de cada vértice.
- 55 10. El sistema de seguimiento según la reivindicación 1, donde las dianas están montadas rígidamente en el objeto y donde el sistema de control conmuta selectivamente el seguimiento de dianas para mantener la línea de visión entre los cabezales de seguimiento y las dianas; opcionalmente, donde el cambio selectivo de dianas garantiza que al menos tres dianas sean rastreadas continuamente por los cabezales de seguimiento.
- 60 11. El sistema de seguimiento según la reivindicación 8, donde al menos uno de:
- a) los múltiples cabezales de seguimiento están montados en una disposición colineal en la plataforma;
  - 65 b) la base del robot incluye un cabezal montado en una barra; y, opcionalmente, la barra está unida a un vehículo.

12. El sistema de seguimiento según la reivindicación 8 o la reivindicación 11, donde la base de seguimiento incluye una serie de patas que soportan la plataforma en una posición elevada con respecto al entorno; opcionalmente, la plataforma se eleva a una altura que es al menos una de:

- 5
- a) de 2 m a 4 m;
  - b) de 2 m a 3 m; y,
  - c) al menos 2,5 m.

13. El sistema de seguimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, donde la plataforma tiene una estructura tubular alargada y tres patas tubulares alargadas dependen hacia abajo de esta en una configuración de trípode;

15

opcionalmente, un par de patas exteriores están unidas a la plataforma y una tercera pata interior está montada de forma giratoria en la plataforma, lo que permite que la base de seguimiento se pliegue en una configuración sustancialmente plana para el transporte;

opcionalmente, las patas tubulares incluyen un accesorio de manguera y una válvula operable para permitir que cada pata esté al menos parcialmente llena de agua; y,  
opcionalmente, las patas terminan en una punta que se acopla al suelo.

14. El sistema de seguimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, donde bajo una carga de viento de hasta 5 m/s la plataforma experimenta una rotación que es al menos una de:

- 25
- a) menos de  $\pm 0,01^\circ$ ;
  - b) menos de  $\pm 0,05^\circ$ ; y,
  - c) menos de  $\pm 0,001^\circ$ .

15. El sistema de seguimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, donde el sistema de seguimiento se utiliza para rastrear la posición y orientación de un cabezal de colocación de ladrillos de una máquina robótica de colocación de ladrillos;

30

opcionalmente, el cabezal de colocación de ladrillos está programado para construir las paredes de ladrillos de una casa sobre una losa de construcción; y,

35

opcionalmente, el entorno es un sitio de construcción y un sistema de coordenadas del entorno se define como un sistema de coordenadas de la losa de construcción.

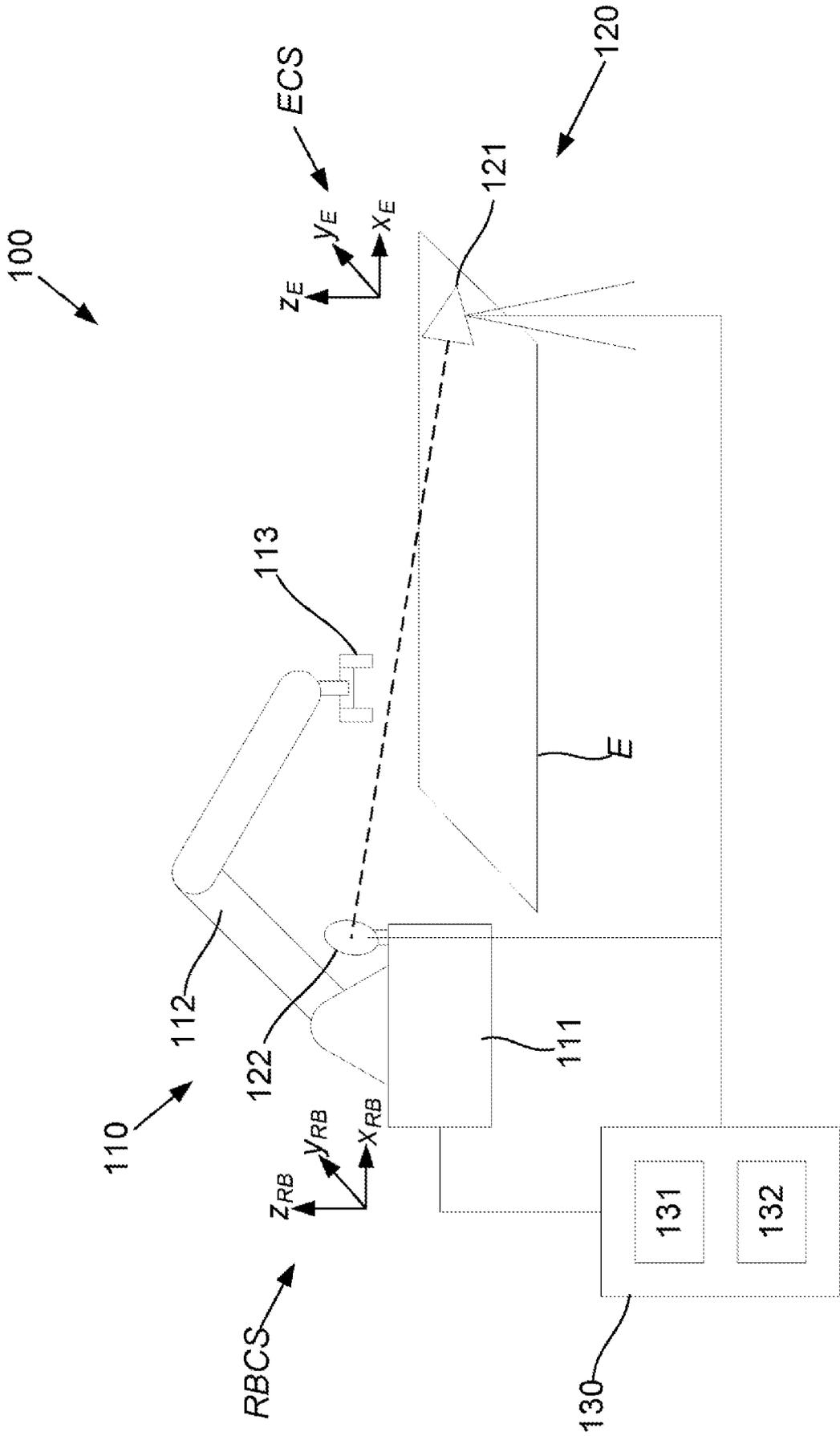


Fig. 1A

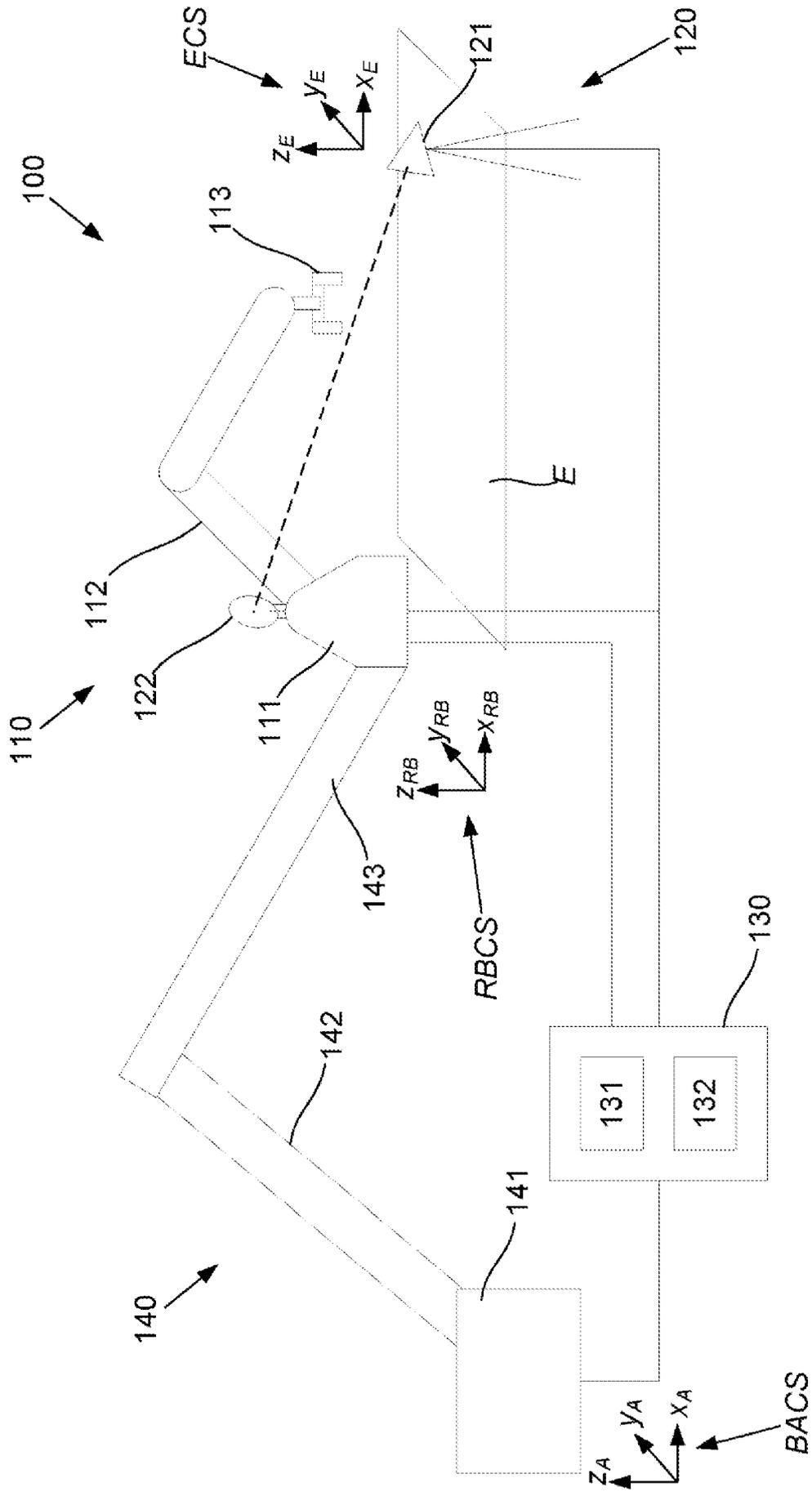


Fig. 1B

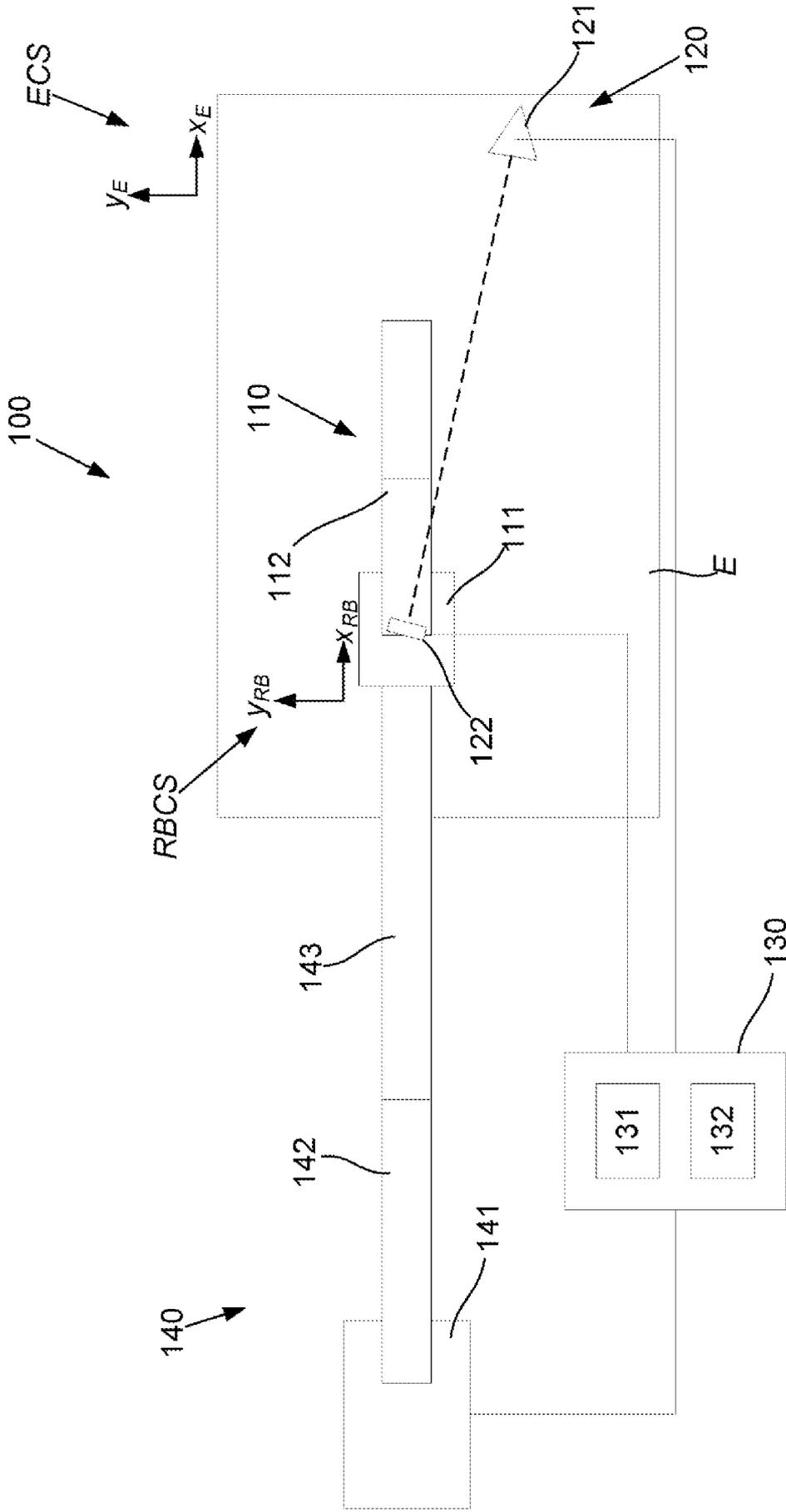
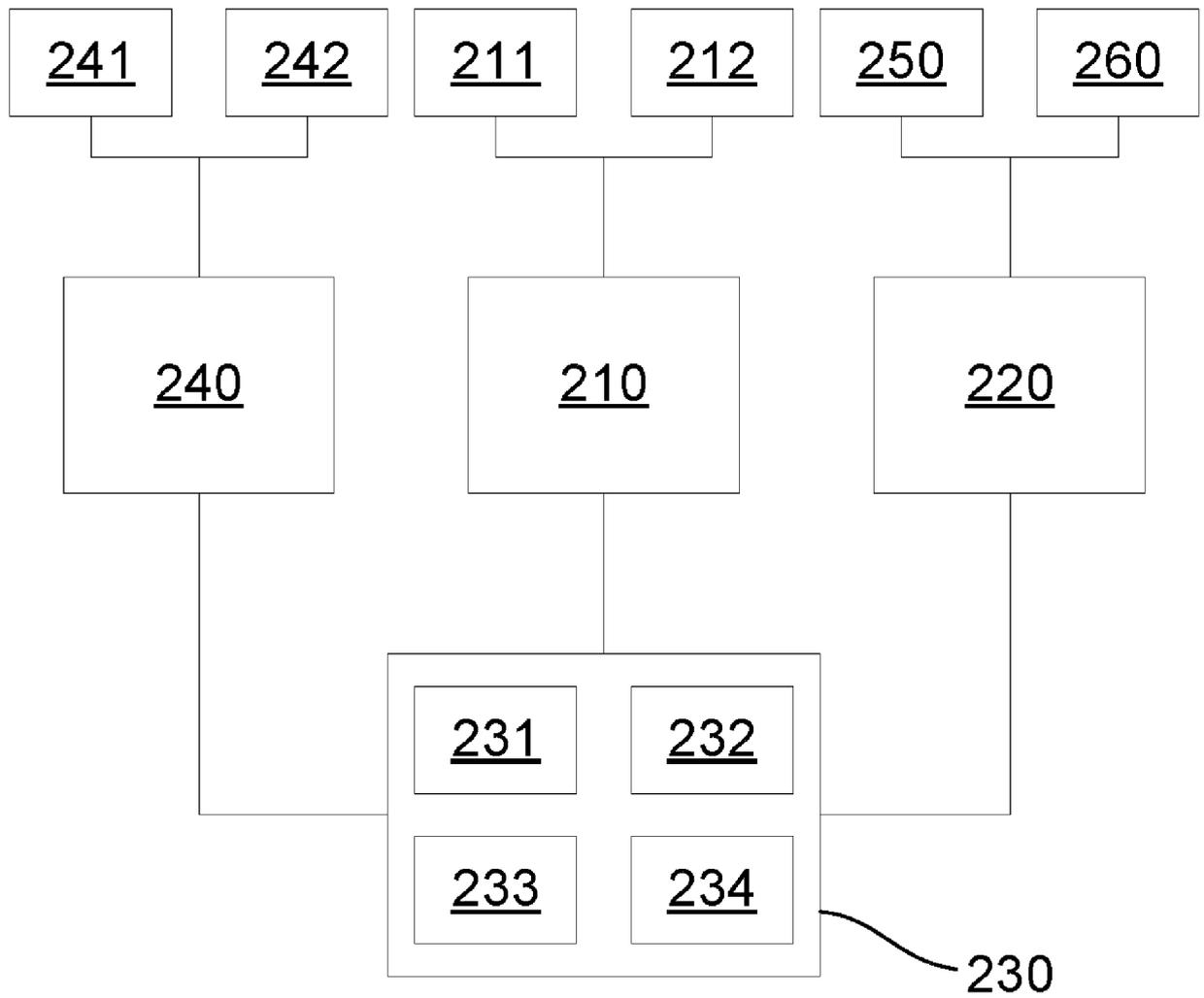
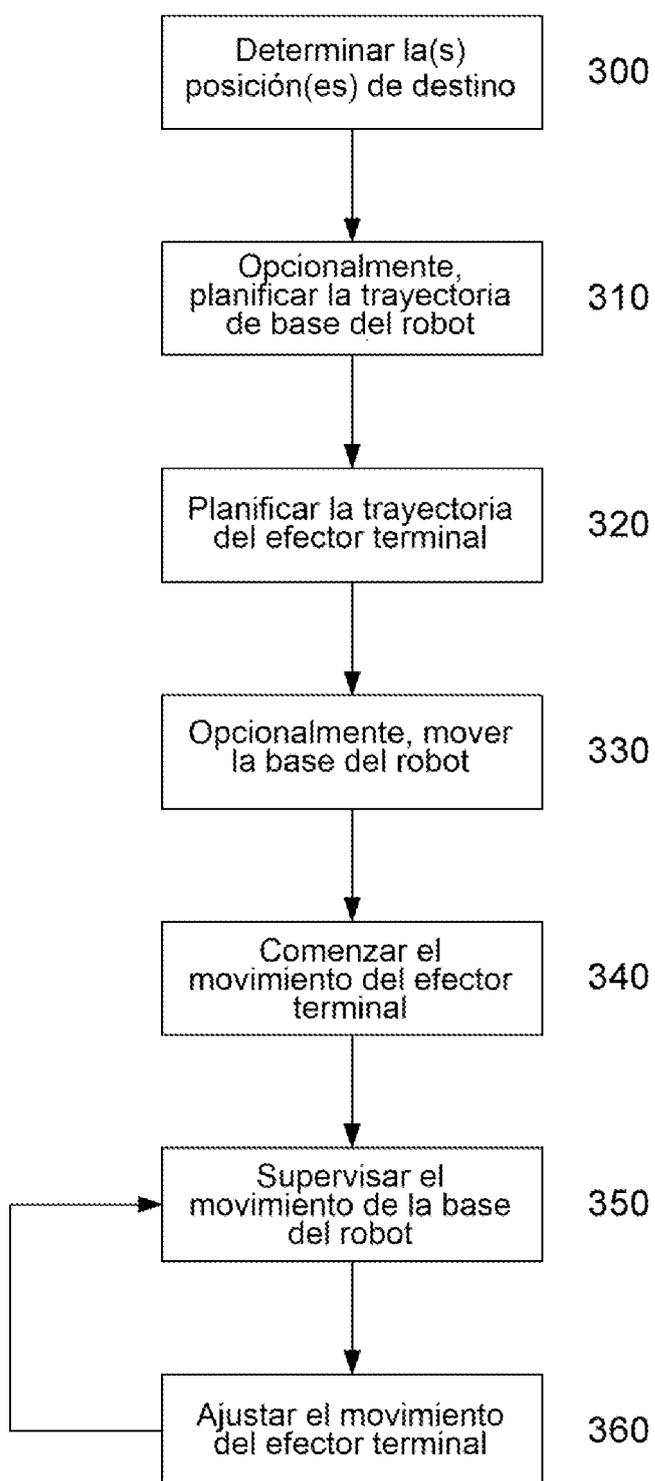


Fig. 1C



**Fig. 2**

**Fig. 3**

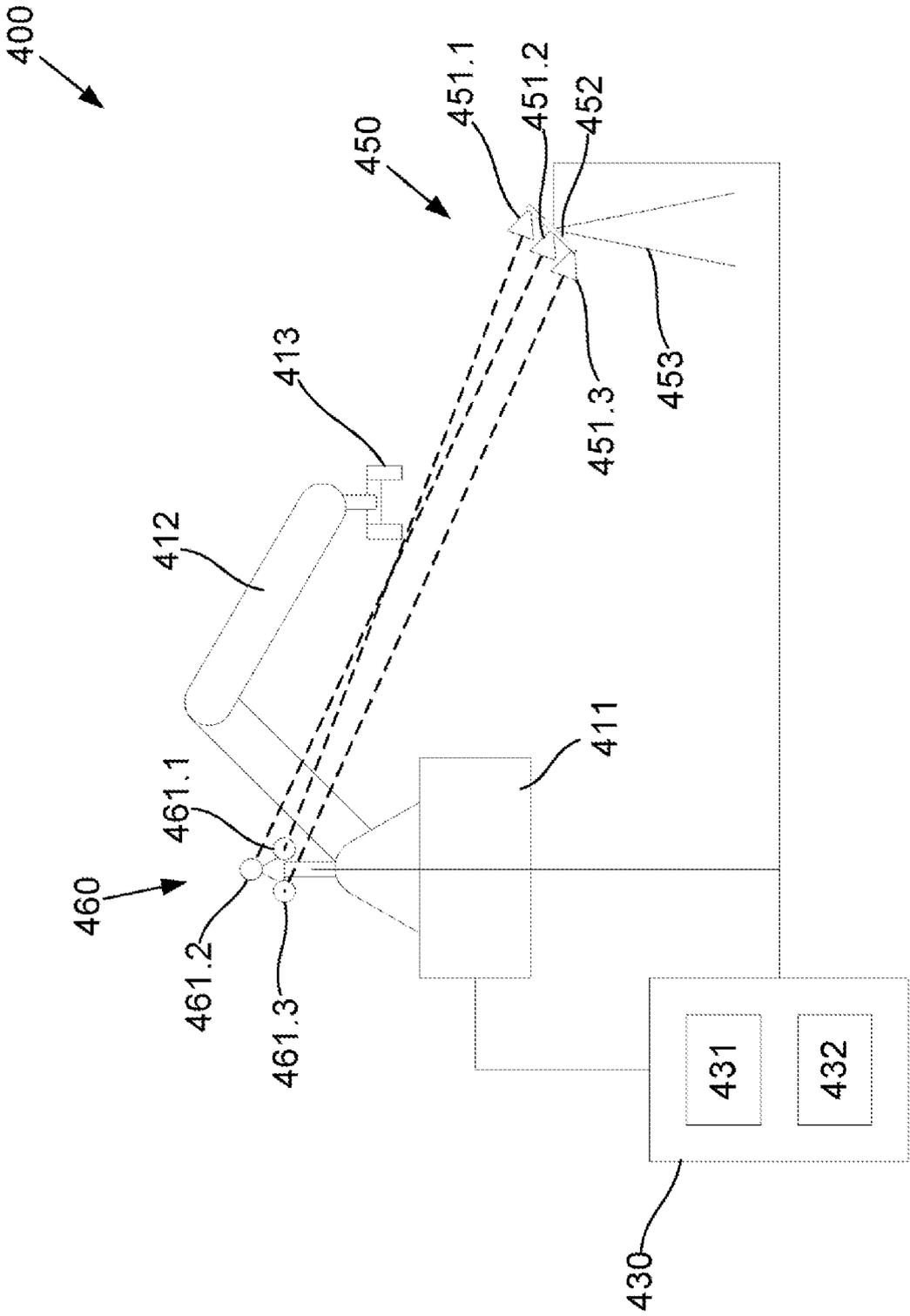


Fig. 4

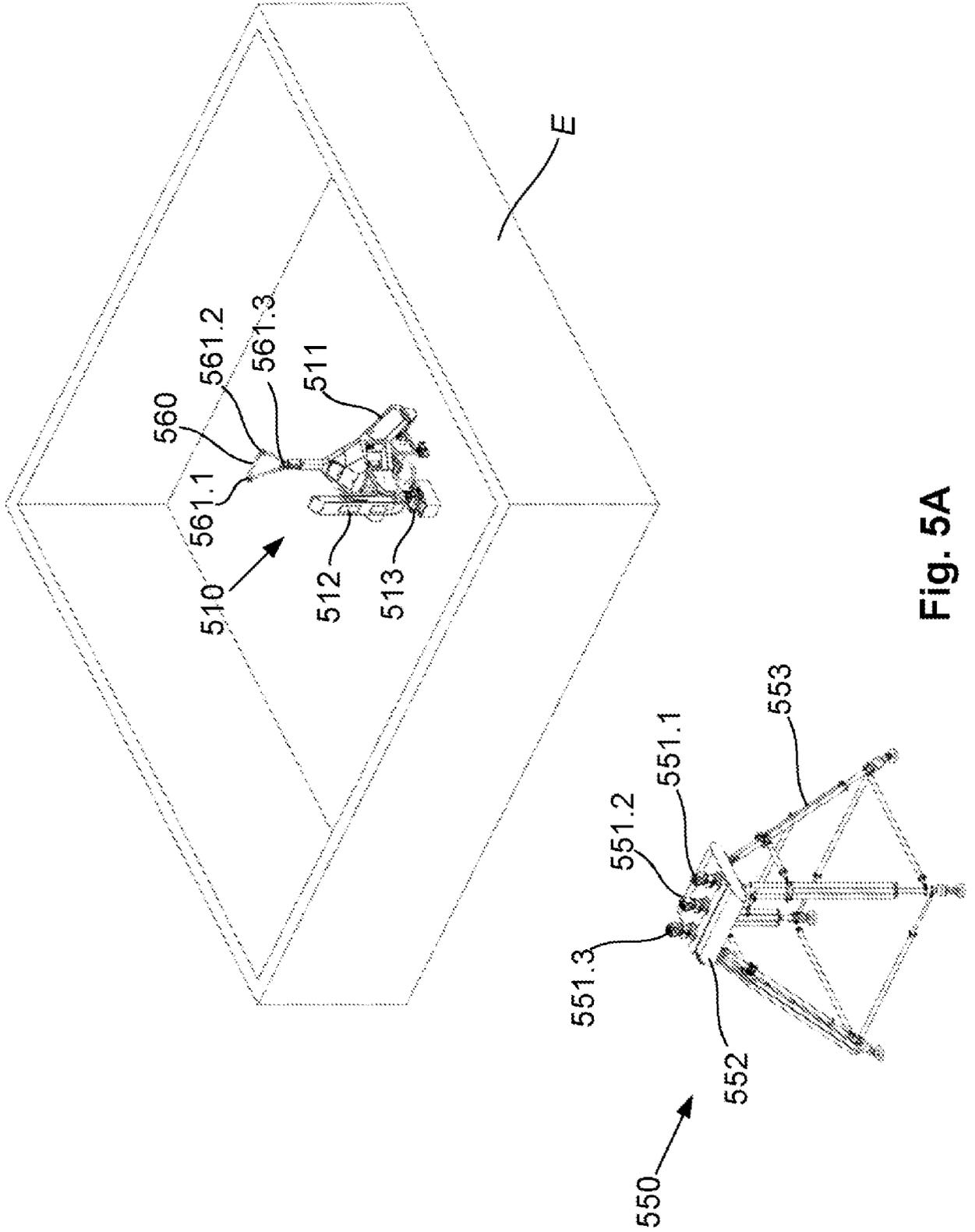


Fig. 5A

Fig. 5B

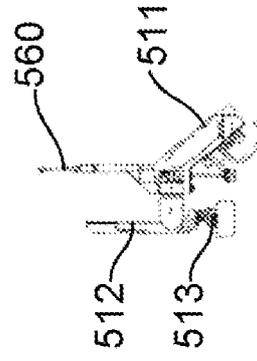
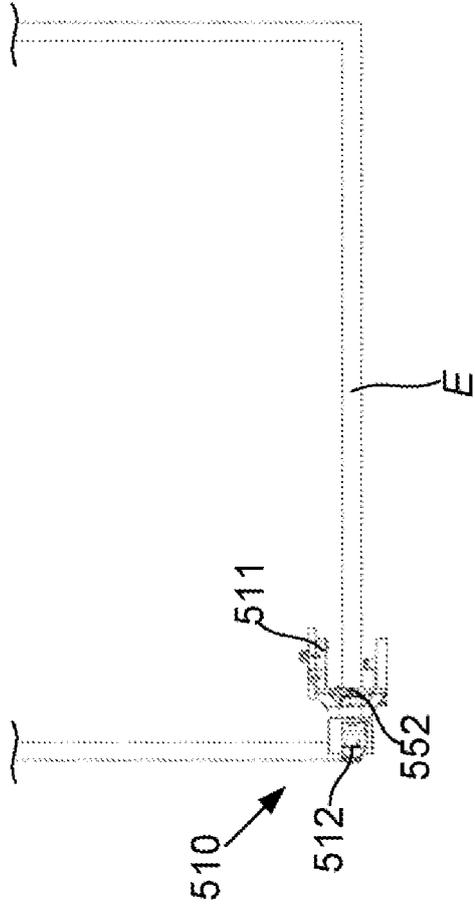
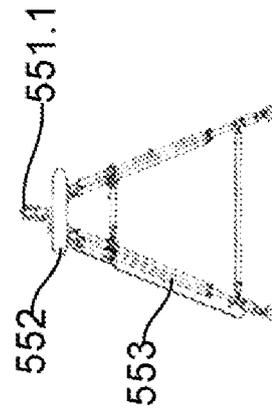
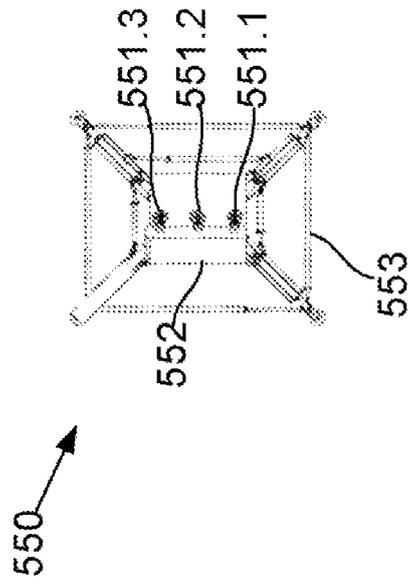


Fig. 5C



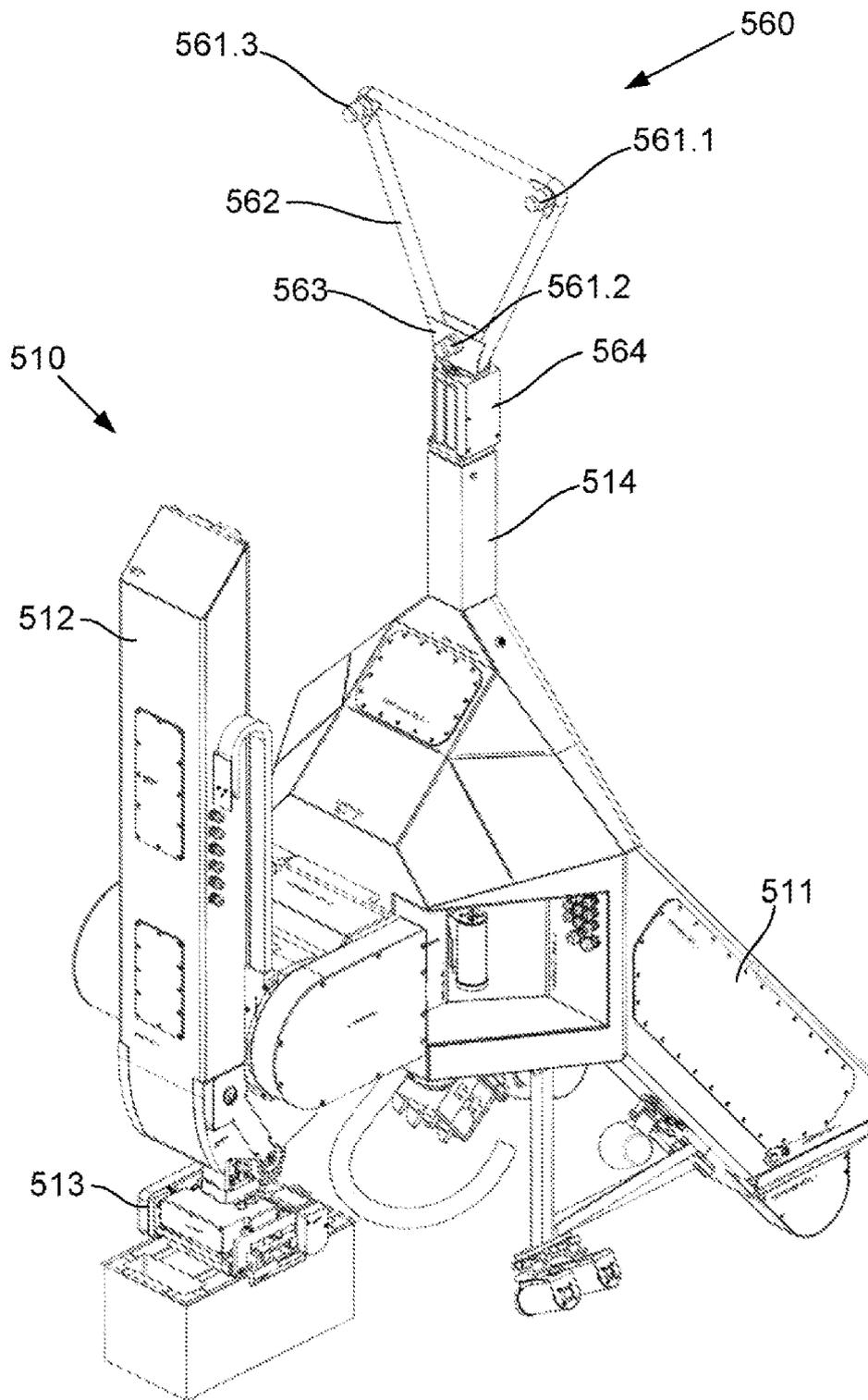
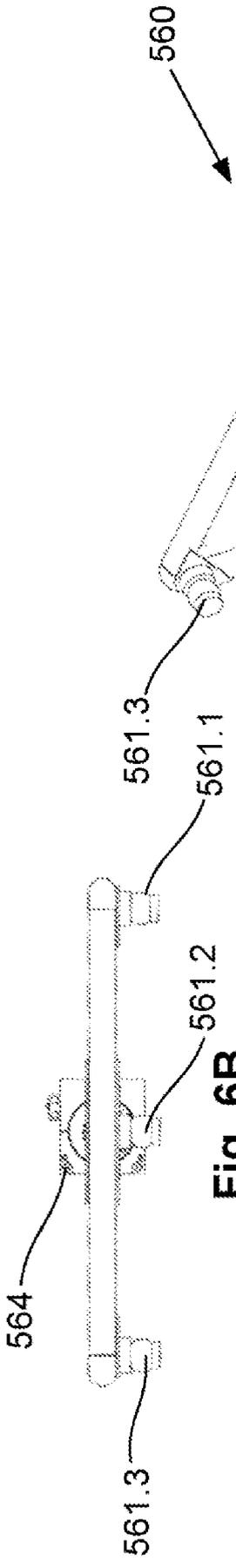
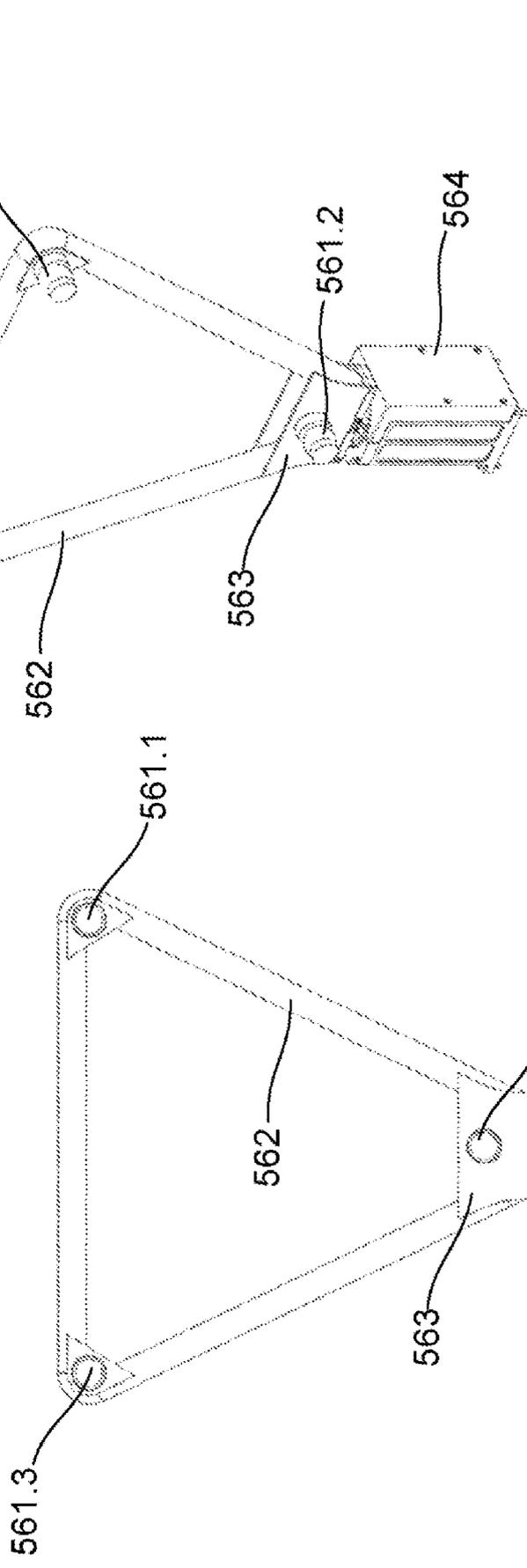


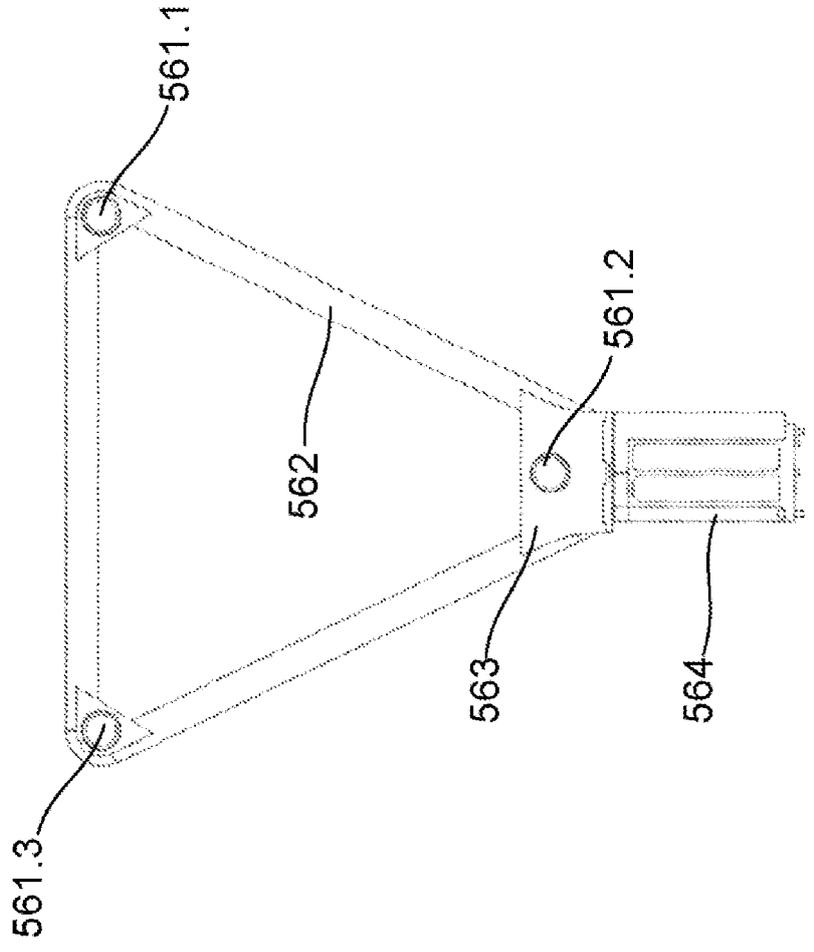
Fig. 6A



**Fig. 6B**



**Fig. 6D**



**Fig. 6C**

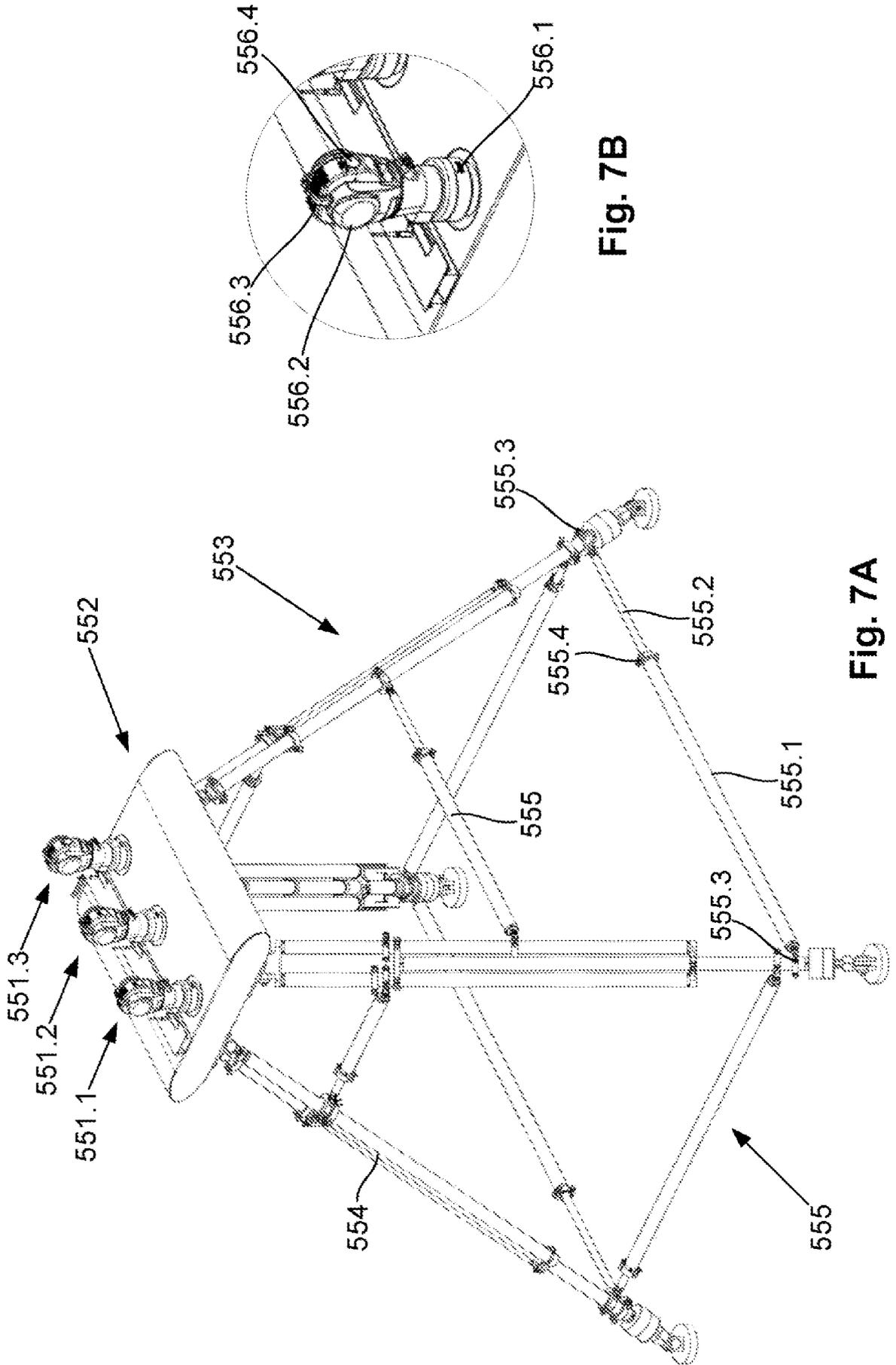


Fig. 7B

Fig. 7A

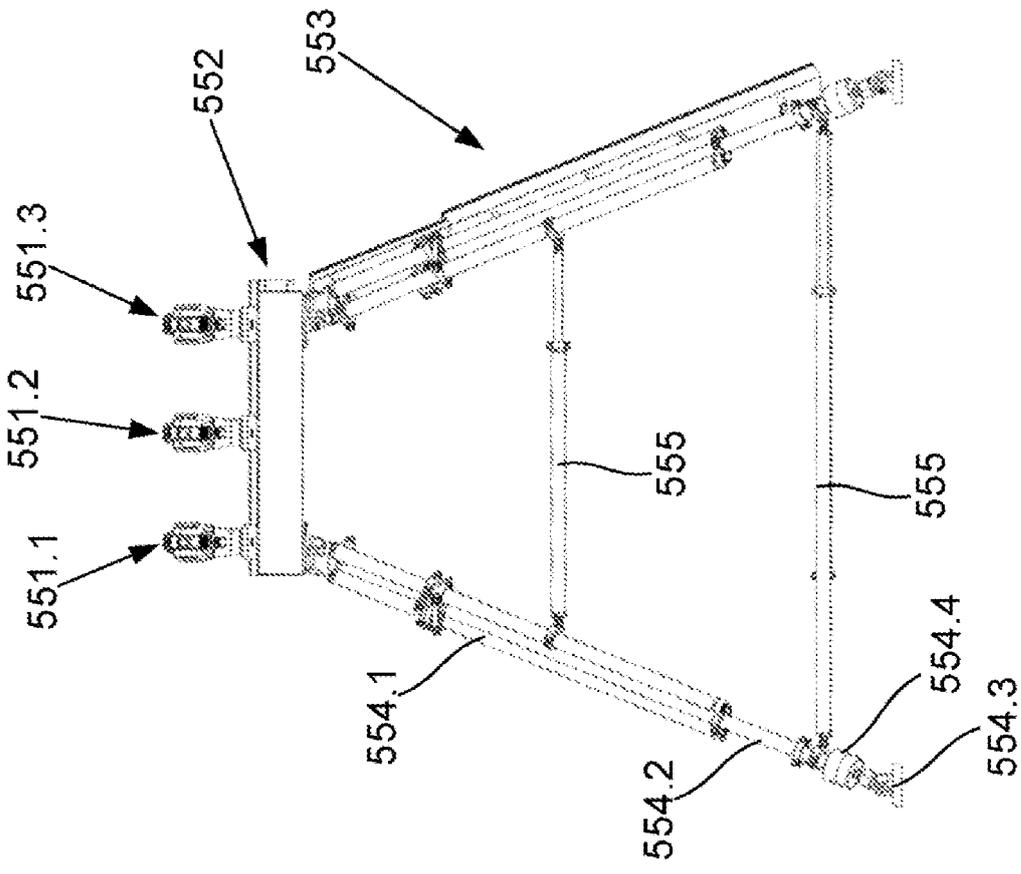


Fig. 7C

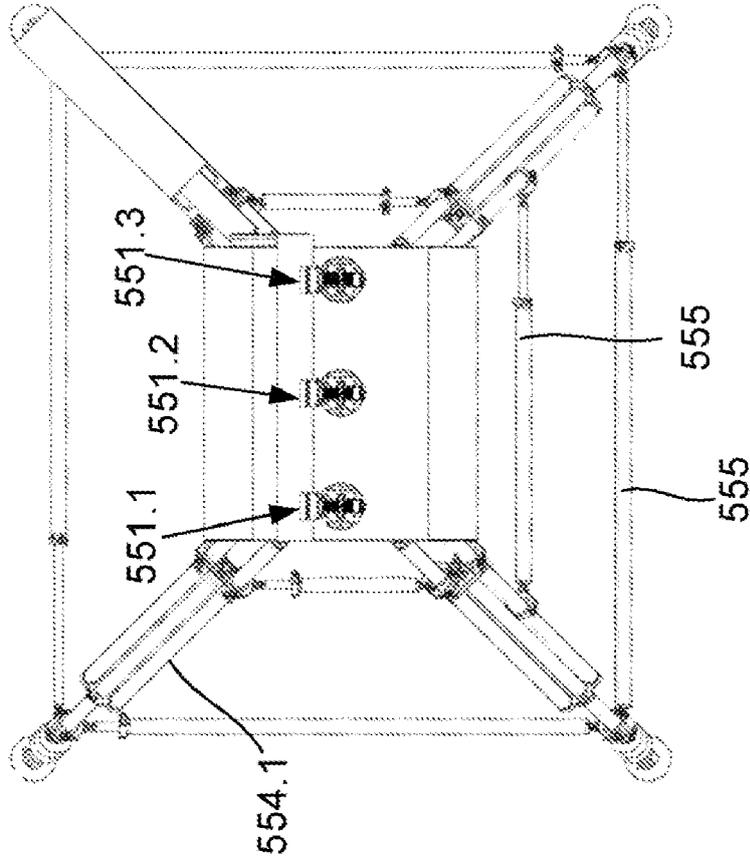


Fig. 7D

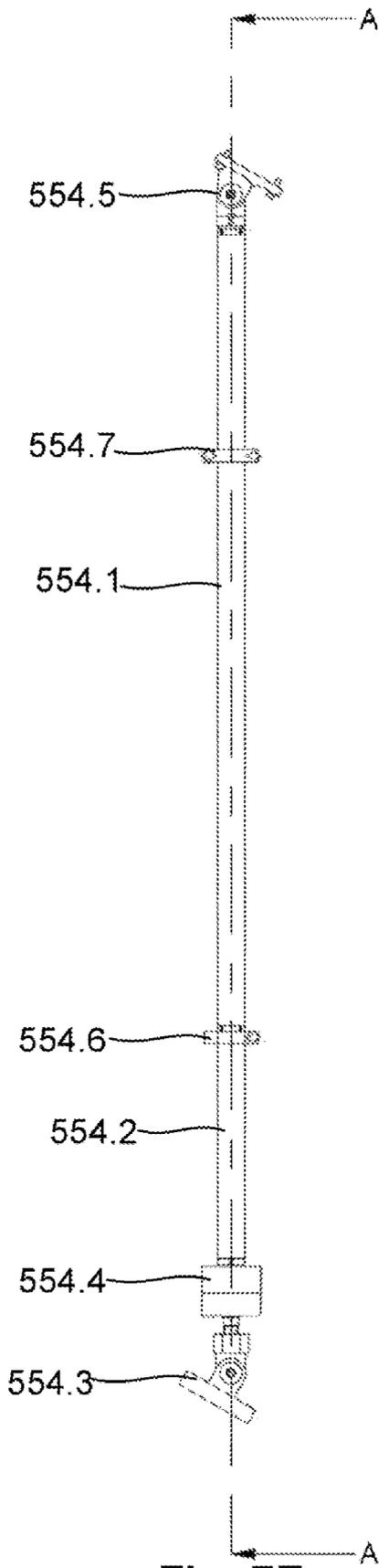
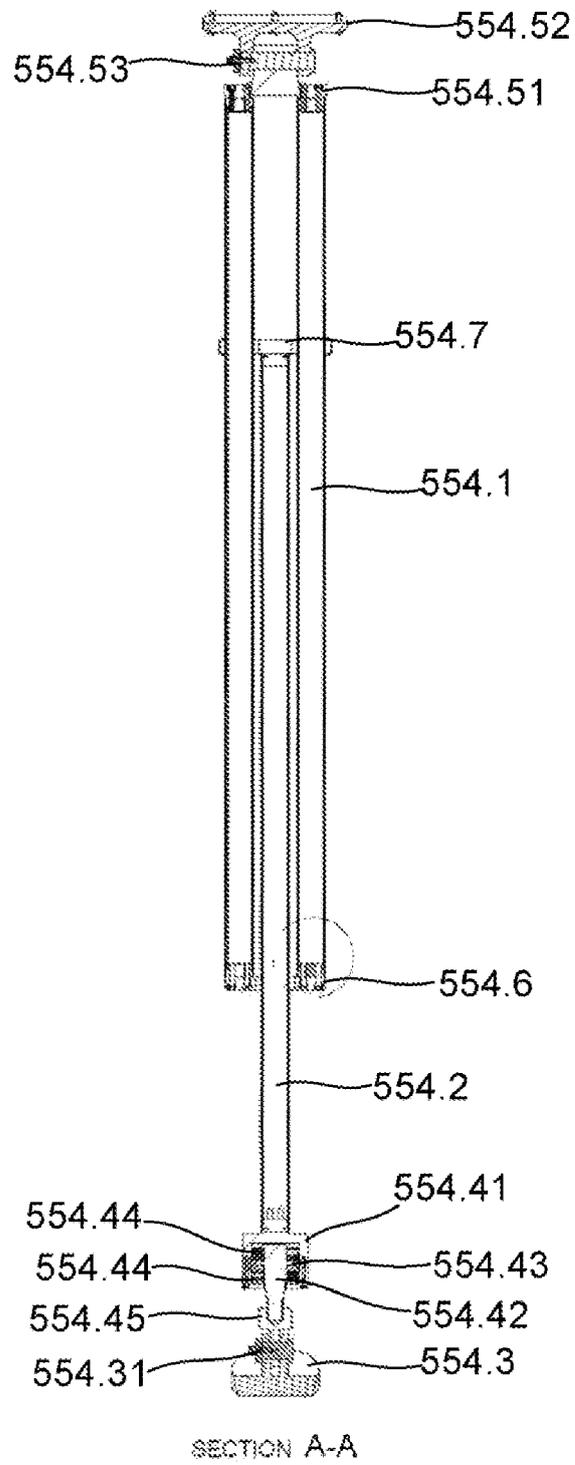
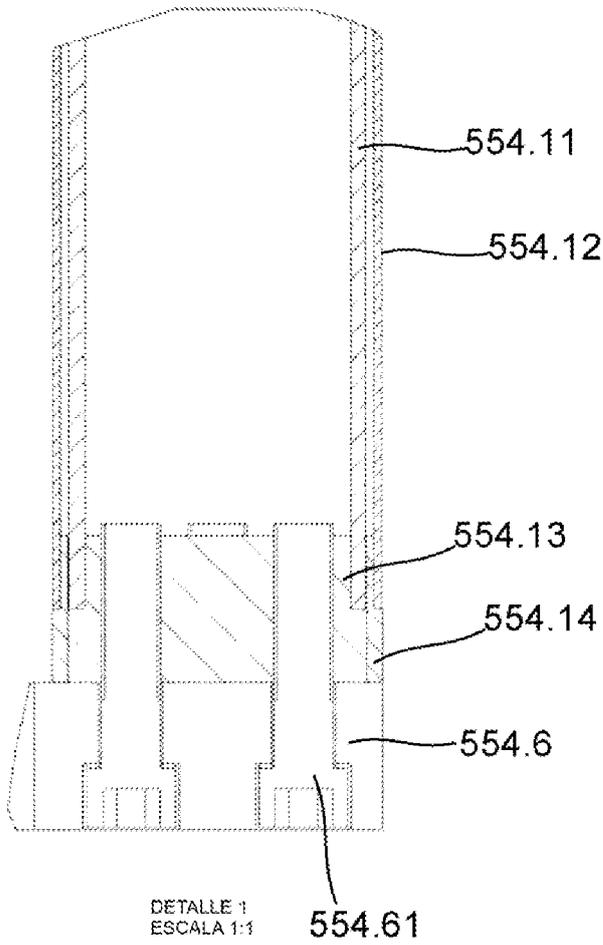


Fig. 7E

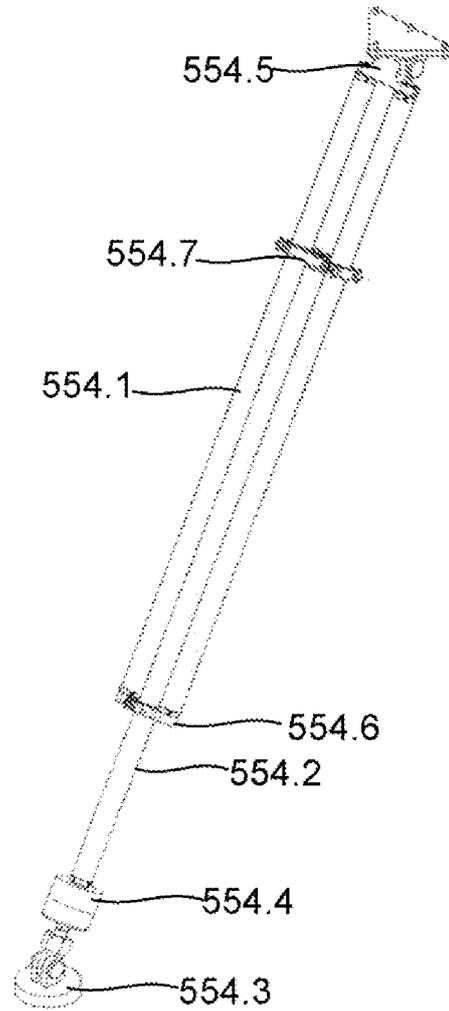


SECTION A-A

Fig. 7F



**Fig. 7G**



**Fig. 7H**

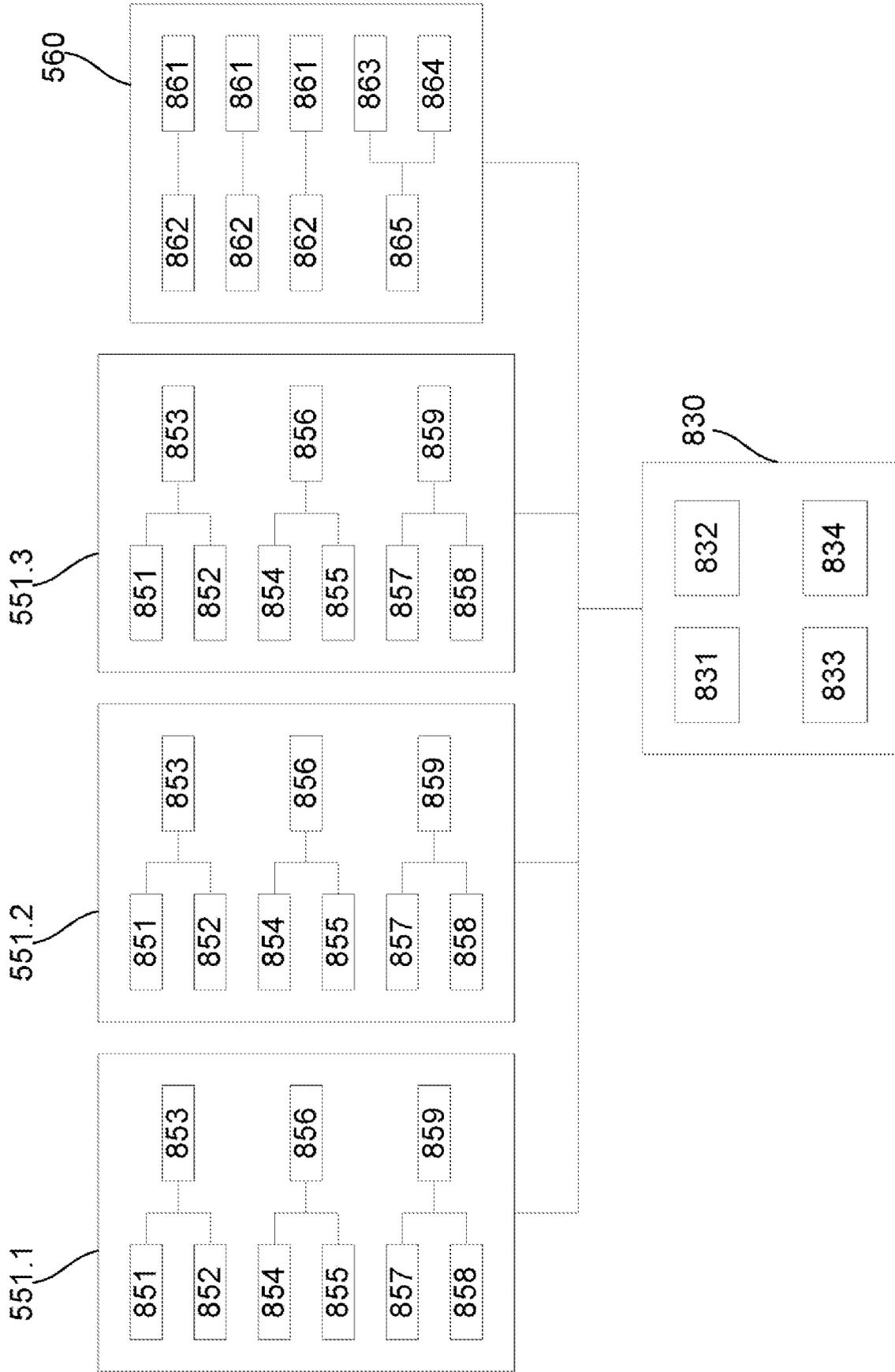
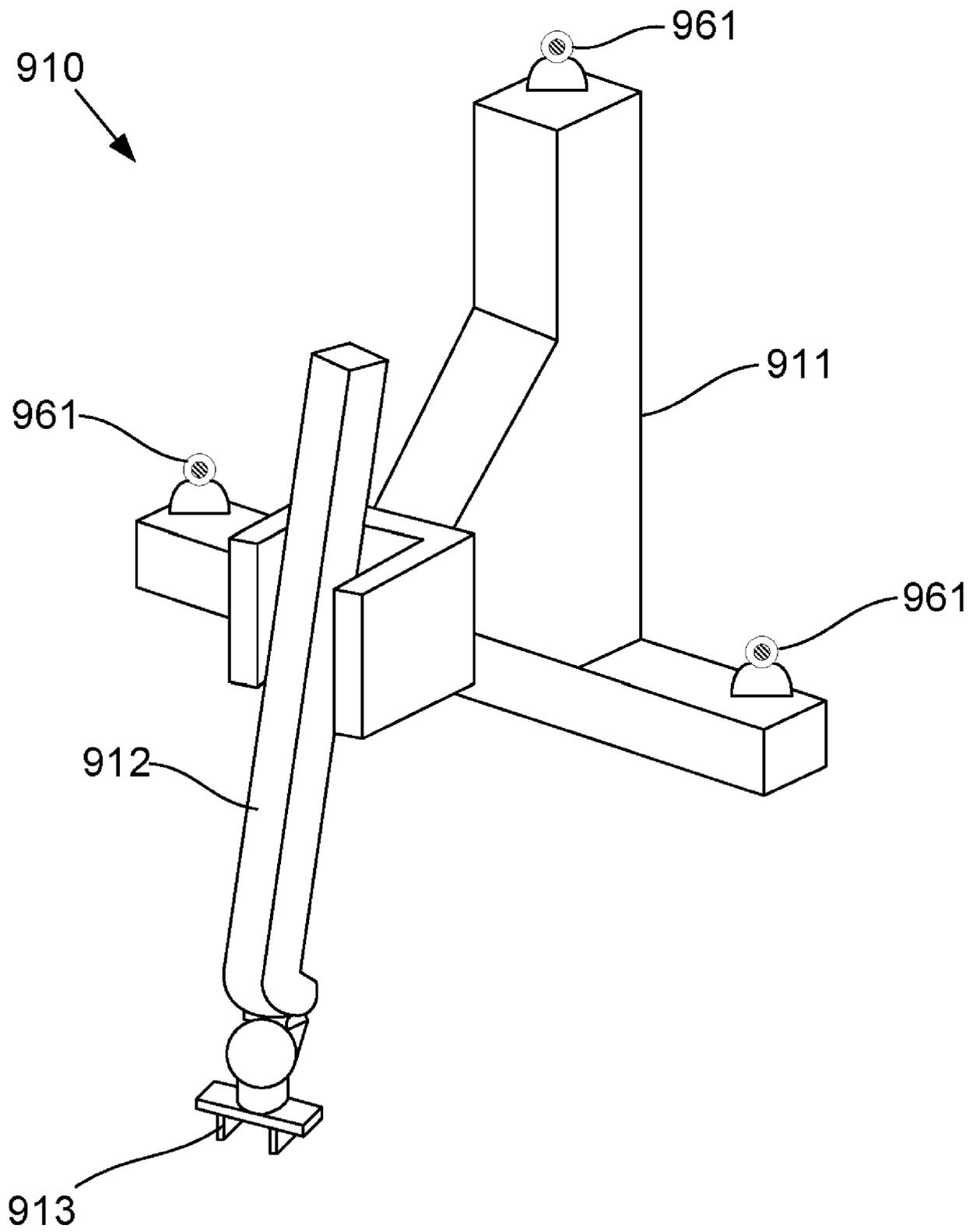
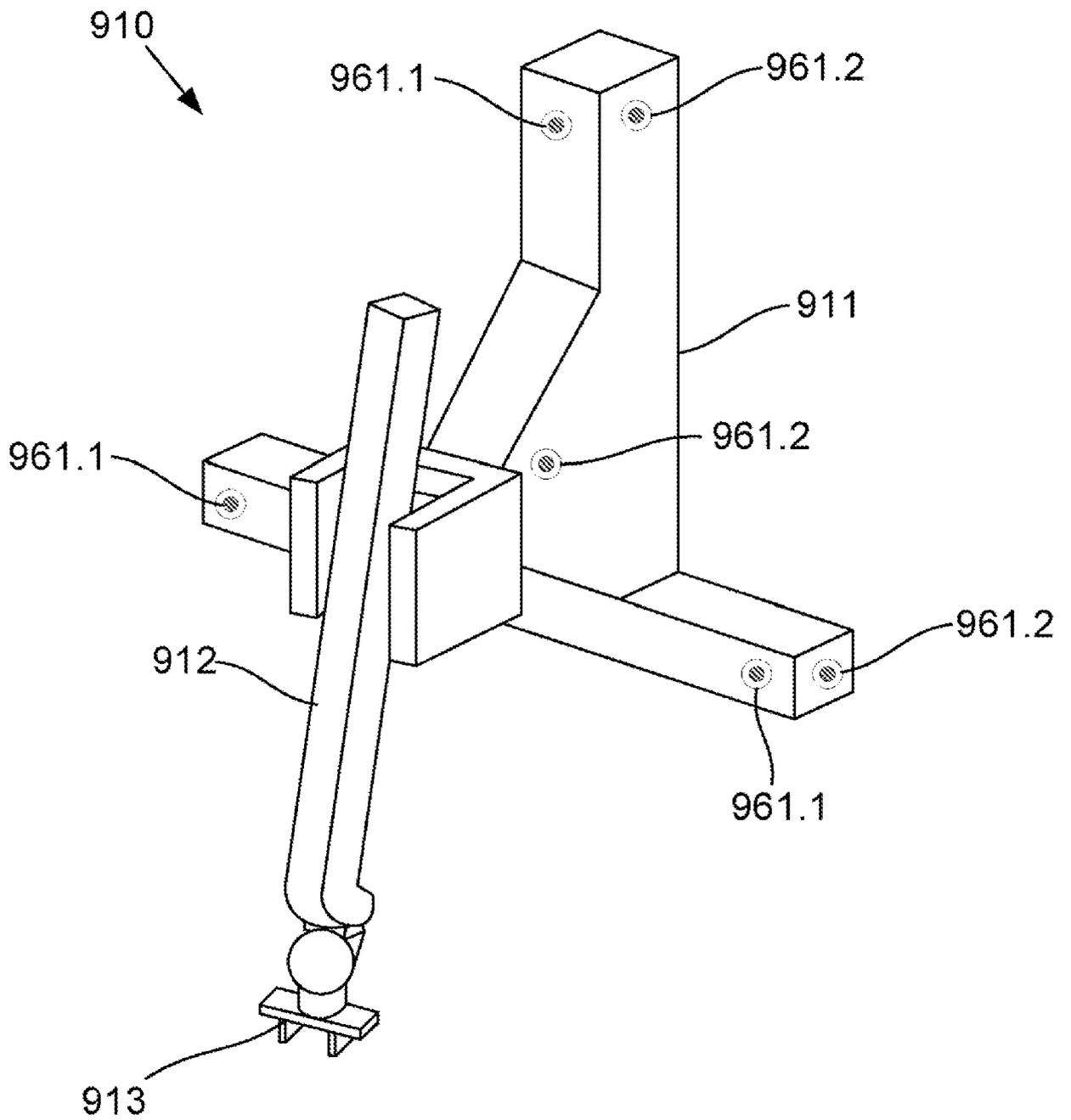


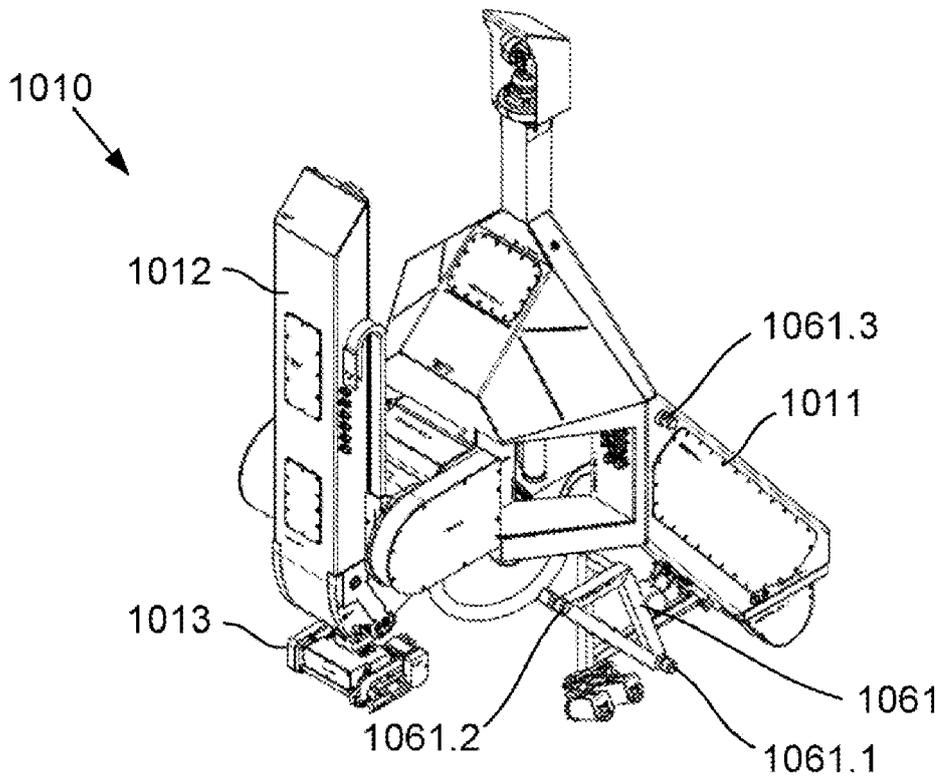
Fig. 8



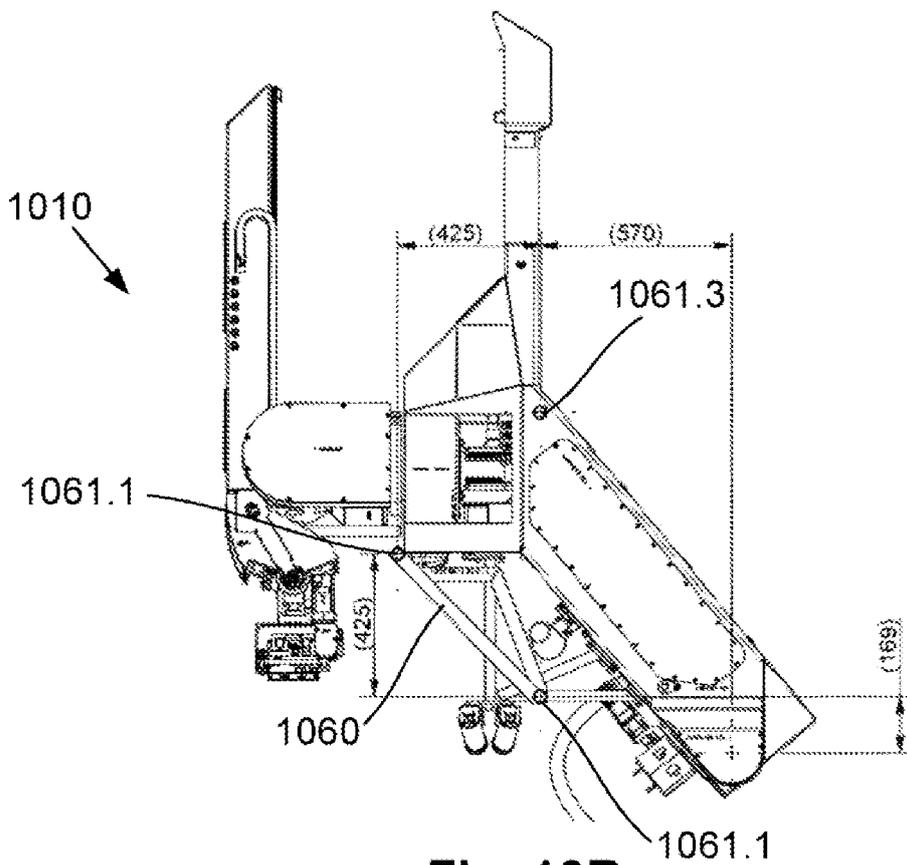
**Fig. 9A**



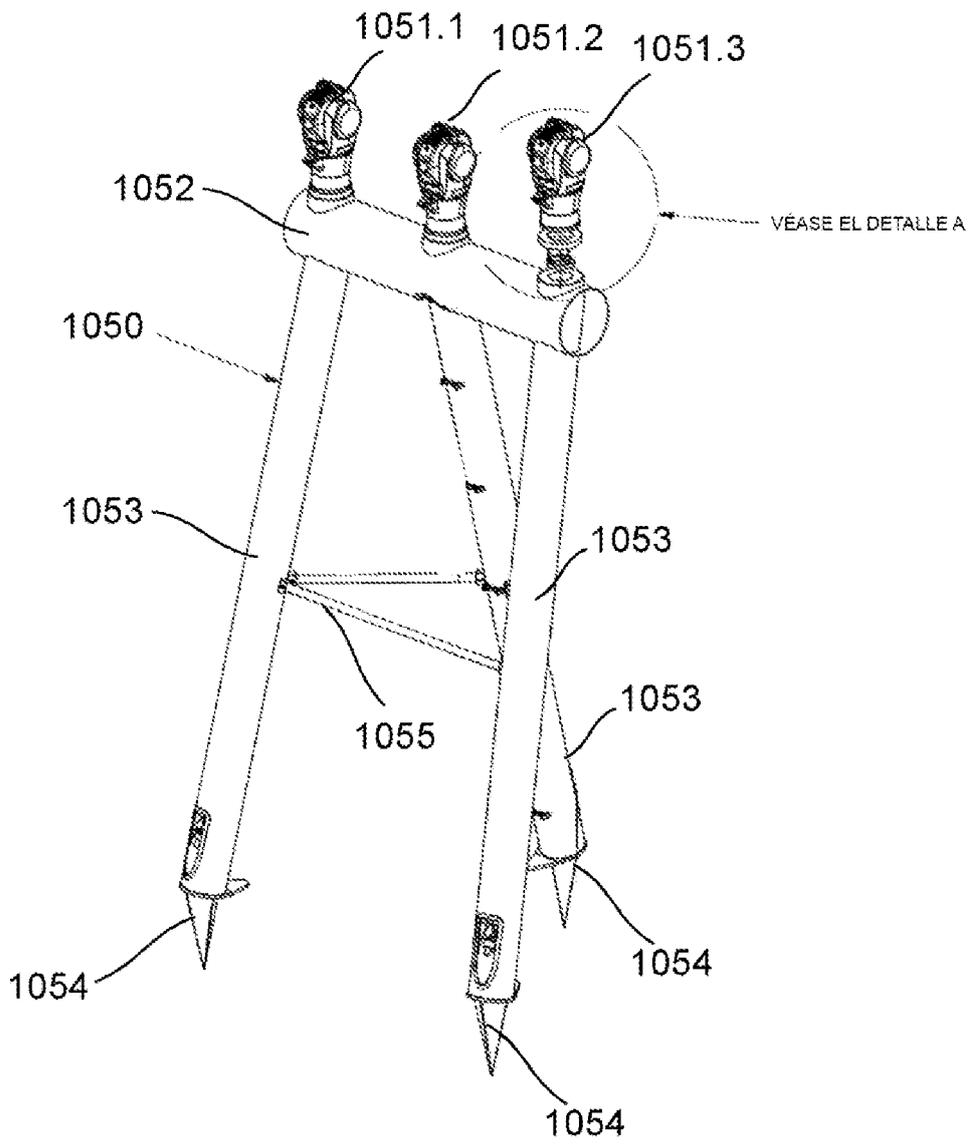
**Fig. 9B**



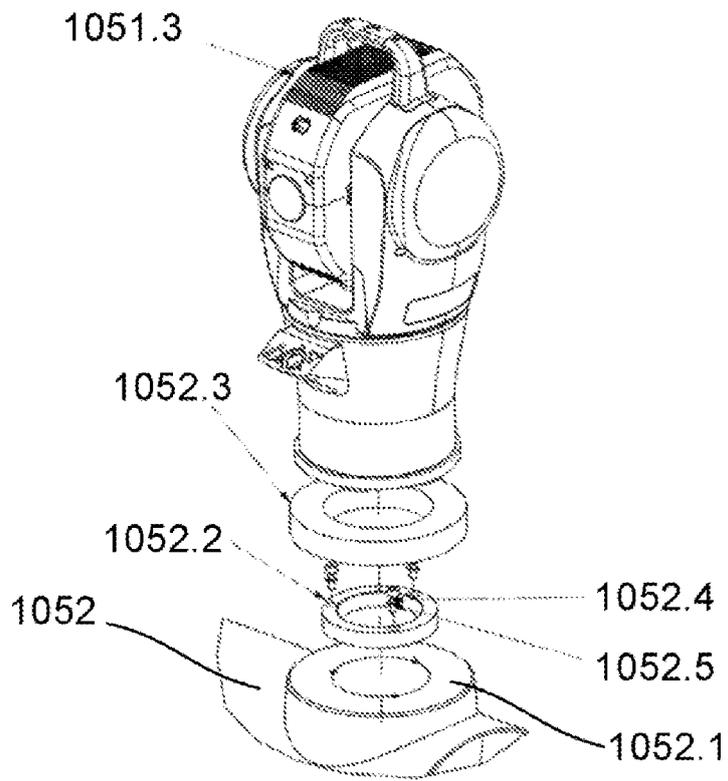
**Fig. 10A**



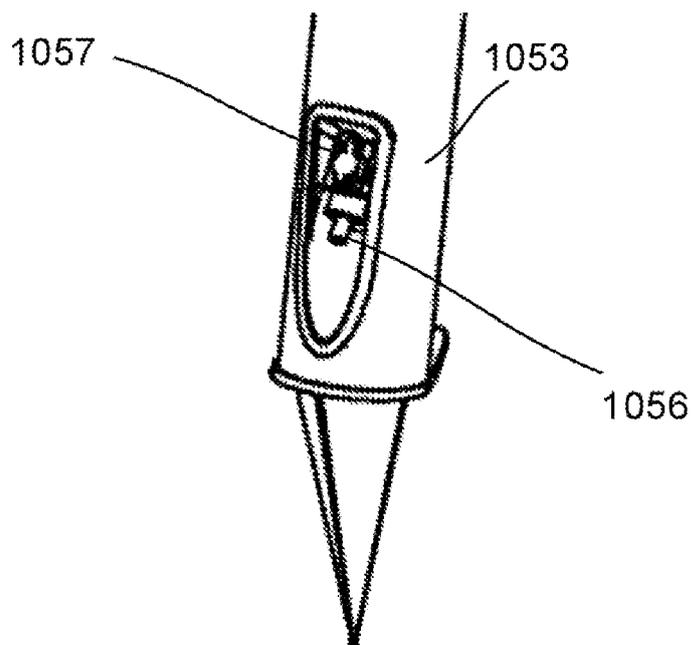
**Fig. 10B**



**Fig. 11A**



**Fig. 11B**



**Fig. 11C**

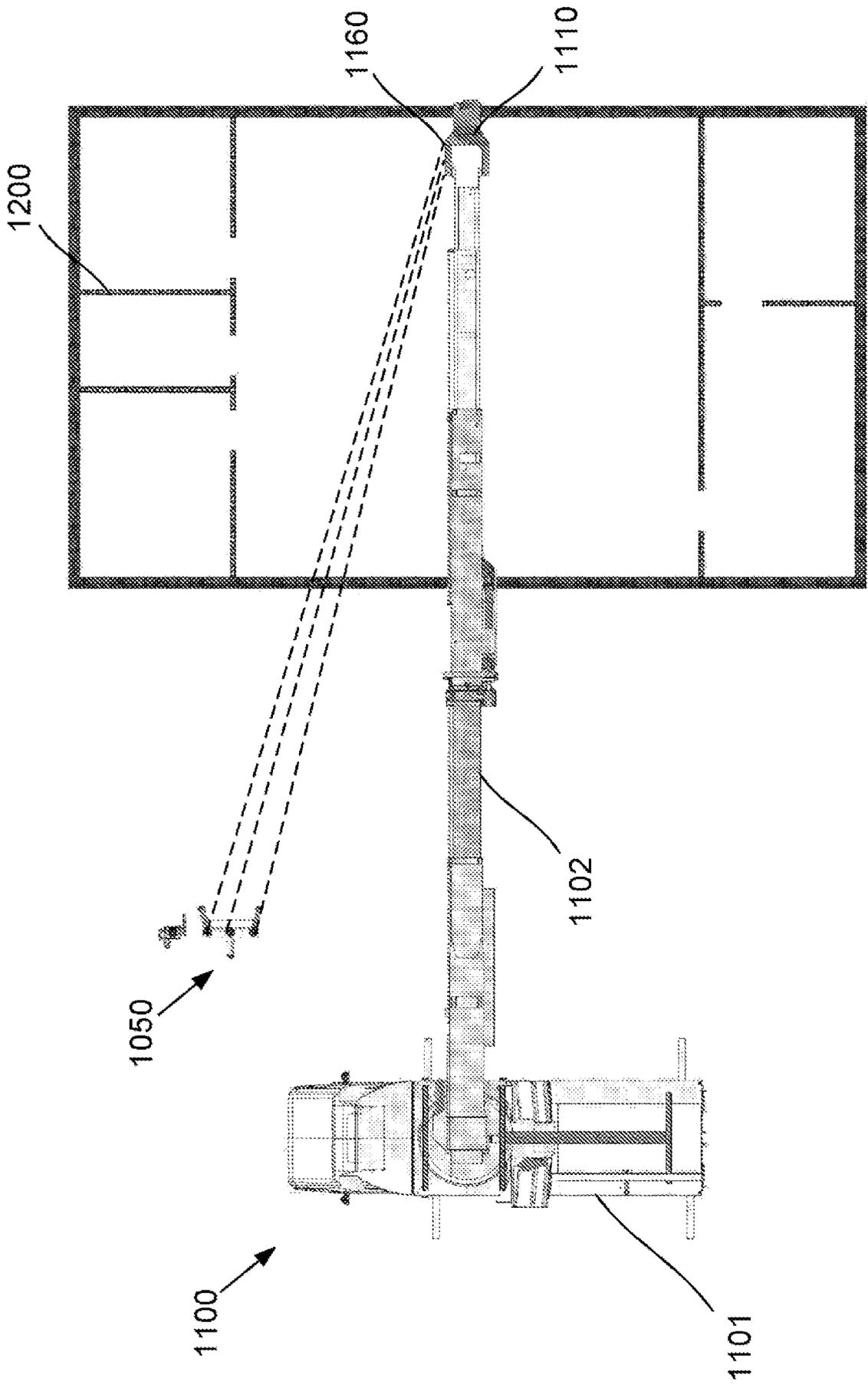


Fig. 12