

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 901 143**

51 Int. Cl.:

G05D 1/02 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.11.2018 PCT/US2018/061567**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.05.2019 WO19103935**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.11.2018 E 18815439 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.09.2021 EP 3714343**

54 Título: **Localización de acoplamiento de un cargador de robot**

30 Prioridad:

22.11.2017 US 201715821669

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

21.03.2022

73 Titular/es:

**LOCUS ROBOTICS CORP. (100.0%)
301 Ballardvale Street
Wilmington, MA 01887, US**

72 Inventor/es:

**MOORE, THOMAS;
POWERS, BRADLEY;
SUSSMAN, MICHAEL y
INSINGA, ARON K.**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 901 143 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

Localización de acoplamiento de un cargador de robot

5 Campo de la invención

La invención descrita en la presente memoria se refiere a un sistema de carga eléctrica y, más particularmente, a la navegación de un robot a un sistema de carga eléctrica y al acoplamiento del robot al sistema de carga eléctrica.

10

Antecedentes de la invención

En muchas aplicaciones, los robots se usan para realizar funciones en lugar de humanos o para ayudar a humanos a aumentar la productividad y la eficiencia. Una de tales aplicaciones es el cumplimiento de órdenes, que se realiza, típicamente, en un almacén grande lleno de productos para ser enviados a clientes que han realizado sus órdenes en Internet para la entrega doméstica. Cumplir tales órdenes de manera oportuna, precisa y eficaz es, al menos, un desafío logístico.

15

Por ejemplo, en una aplicación de compras de Internet en línea, hacer clic en el botón “comprar” en un carrito de compras virtual crea una “orden”. La orden incluye un listado de artículos que se enviarán a una dirección específica. El proceso de “cumplimiento” implica tomar o “recoger” físicamente estos artículos de un almacén grande, empaquetarlos y enviarlos a la dirección designada.

20

Un objetivo importante del proceso de cumplimiento de la orden es, por lo tanto, enviar el máximo número de productos en el menor tiempo como sea posible. El proceso de recibir una orden, planificar su cumplimiento, encontrar el anaquel o depósito de almacenamiento, recoger el producto y repetir el proceso para cada artículo en la orden, entregando entonces el pedido a una estación de envío es repetitivo e intensivo. En un almacén de existencias con miles o decenas de miles de artículos de inventario que gira rápidamente, los robots juegan un papel fundamental para asegurar el cumplimiento oportuno y eficiente de la orden. Además, los productos que finalmente serán enviados primero necesitan ser recibidos en el almacén y almacenados o “colocados” en depósitos de almacenamiento de manera ordenada a lo largo del almacén para que puedan ser recuperados fácilmente para su envío.

25

30

El uso de robots para realizar funciones de recogida y colocación puede realizarse solo mediante el robot o con la ayuda de operadores humanos. Las funciones de recogida y colocación o inventario, ya sea que se realicen o no con interacción humana, requieren que el robot navegue desde su ubicación actual hasta un almacenamiento de producto objetivo o ubicación del “depósito”. Un método de navegación por un robot en un almacén de cumplimiento de órdenes usa un modelo espacial o “mapa” del almacén, almacenado localmente y actualizado por el robot, para permitir que el robot funcione autónomamente o semiautónomamente a medida que realiza las tareas de cumplimiento de órdenes asignadas. El mapa es una representación digital del almacén, sus ubicaciones de almacenamiento, obstáculos y otras características. Para llegar a un depósito de productos en presencia de obstáculos estacionarios y dinámicos, el robot realiza operaciones de procesamiento en el mapa para determinar su ubicación actual y para recalibrar continuamente su movimiento a lo largo del trayecto objetivo.

35

40

45

Los robots se alimentan por electricidad, que se almacena en baterías integradas del robot. Con todos los desplazamientos que hacen los robots alrededor del almacén, se deben recargar regularmente. Por lo tanto, para que la operación funcione suavemente, es un requisito una manera eficiente y eficaz de cargar los robots. Para la navegación general dentro de un almacén, el tamaño y la resolución del mapa pueden ser tales que un robot pueda navegar satisfactoriamente a su ubicación objetivo, al mismo tiempo que se evitan obstáculos a lo largo de su trayecto objetivo. El procesamiento en el mapa de depósito, sin embargo, puede requerir demasiado procesamiento y dar como resultado una localización y control demasiado imprecisos cuando se necesita localización y control más precisos, tal como cuando se acopla el robot a una estación de carga del robot. Un robot adaptado para dirigirse a una estación de acoplamiento del cargador de robot se conoce, por ejemplo, a partir de la solicitud de patente europea EP 3 185 096 A1.

50

55

Lo que se necesita es un enfoque computacionalmente eficaz para localizar y controlar el robot durante el acoplamiento de un robot a una estación de carga del robot.

60 Breve descripción de la invención

Los beneficios y ventajas de la presente invención sobre los sistemas existentes resultarán fácilmente evidentes a partir de la Breve descripción de la invención y la Descripción detallada a continuación. Una persona con experiencia en la materia apreciará que las enseñanzas de la presente invención pueden practicarse con realizaciones distintas de las resumidas o descritas a continuación.

65

- 5 En un aspecto de la invención, existe un método para navegar un robot para acoplarse con una estación de acoplamiento de cargador. El robot recibe un punto inicial asociado con una estación de acoplamiento del cargador de robot y una posición de acoplamiento asociado con la estación de acoplamiento del cargador de robot. Primero, el robot navega desde una posición actual hasta una posición inicial mediante el uso de la coincidencia de exploración hasta un primer mapa. El robot realiza una segunda navegación desde la posición inicial hasta la posición de acoplamiento mediante el uso de la exploración coincidente con un segundo mapa, lo que provoca, de esta manera, que un puerto de carga eléctrica del robot se acople con una unidad de carga eléctrica de la estación de acoplamiento del cargador de robot.
- 10 En la primera realización, la resolución del segundo mapa usado para la coincidencia de exploración durante la segunda navegación es mayor que la resolución del primer mapa usado durante la primera navegación. En una realización preferida, la resolución del primer mapa puede ser una resolución de 5 cm y la resolución del segundo mapa puede ser una resolución de 1 cm.
- 15 En una realización adicional, el segundo mapa usado para la coincidencia de exploración durante la segunda navegación incluye un mapa de la estación de acoplamiento del cargador de robot. Alternativamente, el segundo mapa usado para la coincidencia de exploración durante la segunda navegación puede consistir solamente en un mapa de la estación de acoplamiento del cargador de robot. En las realizaciones anteriores, la coincidencia de exploración durante la segunda navegación puede localizar el robot mediante el uso de una exploración local de la estación de acoplamiento del cargador de robot contra el mapa de la estación de acoplamiento del cargador. La exploración local de la estación de carga puede ser una exploración con láser de la estación de acoplamiento del cargador en la resolución del segundo mapa.
- 20 En un segundo aspecto, un robot móvil se configura para desplazarse desde una ubicación actual hacia y acoplarse con una estación de acoplamiento de cargador para recargarse. El robot móvil puede incluir una base móvil con ruedas que tiene un puerto de carga eléctrica y un procesador. El procesador del robot móvil puede configurarse para obtener una posición inicial asociada con la estación de carga, obtener una posición de acoplamiento asociada con la estación de carga, navegar la base móvil con ruedas desde la ubicación actual hasta la posición inicial mediante el uso de exploración coincidente con un primer mapa, y navegar la base con ruedas desde la posición inicial hasta la posición de acoplamiento mediante el uso de la exploración coincidente con un segundo mapa, lo que provoca de esta manera que el puerto de carga eléctrica de la base con ruedas se acople con una unidad de carga eléctrica de la estación de carga del robot.
- 25 En la realización del segundo aspecto, la resolución del segundo mapa usado para la coincidencia de exploración durante el segundo desplazamiento puede ser mayor que la resolución del primer mapa usado durante el primer desplazamiento. En una realización preferida, la resolución del primer mapa es de resolución de 5 cm y la resolución del segundo mapa es de resolución de 1 cm.
- 30 En una realización adicional del robot móvil, el segundo mapa usado para la exploración coincidente durante la segunda navegación incluye un mapa de la estación de acoplamiento del cargador de robot. Alternativamente, el segundo mapa usado para la coincidencia de exploración durante la segunda navegación puede consistir solamente en un mapa de la estación de acoplamiento del cargador de robot. En las realizaciones anteriores del robot móvil, la coincidencia de exploración durante la segunda navegación localiza el robot mediante el uso de una exploración local de la estación de acoplamiento del cargador de robot contra el mapa de la estación de acoplamiento del cargador. La exploración local puede ser una exploración con láser de la estación de acoplamiento del cargador en la resolución del segundo mapa.
- 35 En otras realizaciones del robot móvil, la posición inicial está separada de la estación de acoplamiento de carga por una primera distancia y la posición de acoplamiento está separada de la estación de carga por una segunda distancia. En algunas realizaciones, la primera distancia es mayor que la segunda distancia. En realizaciones adicionales, la posición inicial y la posición de acoplamiento se almacenan en una memoria en una de las bases móviles con ruedas o en un servidor remoto.
- 40 También es concebible un sistema robótico que incluye un escáner de radar láser, un transceptor, un procesador de datos y un dispositivo de almacenamiento de datos que tiene instrucciones almacenadas en el mismo para su ejecución por el procesador de datos. Las instrucciones pueden configurarse para hacer que el robot reciba una posición inicial asociada con una estación de acoplamiento del cargador de robot, reciba una posición de acoplamiento asociada con la estación de acoplamiento del cargador de robot, realice una primera navegación de un robot desde una posición actual hasta la posición inicial mediante el uso de coincidencia de exploración con un primer mapa, y realizar una segunda navegación del robot desde la posición inicial hasta la posición de acoplamiento mediante el uso de coincidencia de exploración con un segundo mapa. Después de llegar a la posición de acoplamiento, un puerto de carga eléctrica del robot puede acoplarse con una unidad de carga eléctrica de la estación de acoplamiento del cargador de robot.
- 45 En el sistema de robot, la resolución del segundo mapa usado para la coincidencia de exploración durante la segunda navegación es mayor que la resolución del primer mapa usado durante la primera navegación.
- 50
- 55
- 60
- 65

Preferentemente, la resolución del primer mapa puede ser una resolución de 5 cm y la resolución del segundo mapa puede ser una resolución de 1 cm.

5 En el sistema de robot, el segundo mapa usado para la coincidencia de exploración durante la segunda navegación incluye un mapa de la estación de acoplamiento del cargador de robot. Alternativamente, el segundo mapa usado para la coincidencia de exploración durante la segunda navegación puede consistir solamente en un mapa de la estación de acoplamiento del cargador de robot. En las realizaciones anteriores, la coincidencia de exploración durante la segunda navegación puede localizar el robot mediante el uso de una exploración local de la estación de acoplamiento del cargador de robot contra el mapa de la estación de acoplamiento del cargador. La exploración local de la estación de carga puede ser una exploración con láser de la estación de acoplamiento del cargador en la resolución del segundo mapa.

15 Estas y otras características de la invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada y de las figuras adjuntas.

15 Breve descripción de las figuras

Las realizaciones de la presente invención se describirán ahora, a manera de ejemplo solamente, con referencia a las figuras adjuntas, en donde:

20 FIG. 1 es una vista en planta superior de un almacén de cumplimiento de órdenes;

FIG. 2A es una vista frontal en alzado de una base de uno de los robots usados en el almacén mostrado en la Fig. 1;

25 FIG. 2B es una vista en perspectiva de una base de uno de los robots usados en el almacén mostrado en la Fig. 1;

FIG. 3 es una vista en perspectiva del robot en las Figs. 2A y 2B equipado con un armazón y estacionado delante de un anaquel mostrado en la Fig. 1;

30 FIG. 4 es un mapa parcial del almacén de la Fig. 1 creado mediante el uso de radar láser en el robot;

FIG. 5 es un diagrama de flujo que representa el proceso para localizar marcadores fiduciaros dispersos por todo el almacén y almacenar las posiciones de los marcadores fiduciaros;

35 FIG. 6 es una tabla de la identificación fiduciaria para mapear las posiciones;

FIG. 7 es una tabla de la ubicación del depósito con respecto al mapeo de identificación fiduciaria;

40 FIG. 8 es un diagrama de flujo que representa la SKU del producto para el proceso de mapeo de posiciones;

FIG. 9 es una vista frontal de una unidad de carga eléctrica según esta invención;

FIG. 10 es una vista lateral en alzado de la unidad de carga eléctrica de la Fig. 9;

45 FIG. 11 es una vista en perspectiva del puerto de carga eléctrica de la Fig. 10;

FIG. 12 es una vista en sección transversal de la unidad de carga eléctrica acoplada con el puerto de carga eléctrica;

50 FIG. 13A es una vista en perspectiva de la estación de acoplamiento del cargador según la presente invención;

FIG. 13B es una vista en perspectiva de la estación de acoplamiento del cargador de la FIG. 14A con la cubierta exterior retirada que representa el interior de la estación de acoplamiento del cargador;

55 FIG. 14A es una vista frontal de la estación de acoplamiento del cargador de la Fig. 13A;

FIG. 14B es la vista frontal de la estación de acoplamiento del cargador de la FIG. 14A con la cubierta exterior retirada que representa el interior de la estación de acoplamiento del cargador;

60 FIG. 15A es una vista lateral izquierda de la estación de acoplamiento del cargador de la Fig. 13A;

FIG. 15B es la vista lateral izquierda de la estación de acoplamiento del cargador de la Fig. 15A con la cubierta exterior retirada que representa el interior de la estación de acoplamiento del cargador;

65 FIG. 16A es una vista en perspectiva posterior de la estación de acoplamiento del cargador de la Fig. 13A;

FIG. 16B es la vista posterior en perspectiva de la estación de acoplamiento del cargador de la Fig. 16A con la cubierta exterior retirada que representa el interior de la estación de acoplamiento del cargador;

5 FIG. 17 es una vista superior de la estación de acoplamiento del cargador de la Fig. 13A que se muestra con un robot acoplado;

FIG. 18 es una vista esquemática de un robot que se acopla con la estación de carga según un aspecto de esta invención;

10 FIG. 19 muestra una realización de un sistema robótico para usar con los métodos y sistemas de la presente invención;

FIG. 20 ilustra la navegación de un robot desde una ubicación actual hasta una ubicación objetivo a través de un entorno de almacén representado por un mapa espacial;

15 FIG. 21 representa la navegación de un robot en un entorno de almacén representado por un mapa SLAM, según un aspecto de la invención;

FIGS. 22A y 22B representan la adquisición de una búsqueda de rango mediante una exploración local desde un escáner de radar láser de robot en una ubicación dentro del entorno espacial;

20 FIGS. 23A y 23B ilustran la coincidencia de exploración para encontrar la posición de un robot mediante el uso de la traslación de una exploración desalineada a una exploración alineada para determinar la posición actual;

25 FIG. 24 ilustra un método para navegar por un robot para mover el robot a lo largo de un trayecto objetivo, según un aspecto de la invención;

FIG. 25 representa el acoplamiento del robot a la estación de acoplamiento del cargador según una realización de acoplamiento mediante el uso de localización de resolución más alta.

30 FIG. 26 representa el acoplamiento del robot a la estación de acoplamiento del cargador según una realización alternativa del acoplamiento de precisión mediante el uso de localización de resolución más alta.

35 FIG. 27 ilustra un método para navegar un robot para mover el robot desde una posición inicial próxima a una estación de acoplamiento del cargador hasta una posición de acoplamiento de la estación de acoplamiento, según un aspecto del acoplamiento de precisión;

FIG. 28 representa el acoplamiento del robot a la estación de acoplamiento del cargador según una realización de acoplamiento mediante el uso de la coincidencia de exploración.

40 FIG. 29 representa el acoplamiento del robot a la estación de acoplamiento del cargador según una realización de acoplamiento de precisión mediante el uso del control de arco.

45 FIG. 30 ilustra un método de acoplamiento de precisión mediante el uso del control de arco para acoplar el robot a la estación de acoplamiento del cargador, según una realización de acoplamiento de precisión con control de errores;

FIG. 31 ilustra una realización de acoplamiento de precisión mediante el uso del control de arco para acoplar el robot a la estación de acoplamiento del cargador mediante el uso del acoplamiento de precisión con control de errores.

50 Descripción detallada de la invención

La descripción y las diversas características y detalles ventajosos de esta se explican más completamente con referencia a las realizaciones y ejemplos no limitantes que se describen y/o ilustran en las figuras adjuntas y se detallan en la siguiente descripción. Cabe señalar que las características ilustradas en las figuras no están necesariamente dibujadas a escala, y las características de una realización pueden emplearse con otras realizaciones como reconocerá el técnico con experiencia, aun cuando no se mencione explícitamente en la presente descripción. Las descripciones de componentes muy conocidos y técnicas de procesamiento pueden omitirse para no oscurecer innecesariamente las realizaciones de la descripción. Además, se observa que números de referencia similares representan partes similares a lo largo de las diversas vistas de las figuras.

60 La invención está dirigida al acoplamiento de robots a un sistema de carga eléctrica. Aunque no se restringe a ninguna aplicación de robot particular, una aplicación adecuada en la que puede usarse la invención es el cumplimiento de órdenes. El uso de robots en esta solicitud se describirá para proporcionar contexto para acoplar el robot a un sistema de carga eléctrica.

65 Aunque la descripción proporcionada en la presente descripción se centra en recoger artículos de ubicaciones en el almacén para cumplir una orden de envío a un cliente, el sistema es igualmente aplicable al almacenamiento o la

colocación de artículos recibidos en el almacén en ubicaciones en todo el almacén para su posterior recuperación y envío a un cliente. La invención también es aplicable a tareas de control de inventarios asociadas con tal sistema de almacén, tales como consolidación, recuento, verificación, inspección y limpieza de productos. Estos y otros beneficios y ventajas serán fácilmente evidentes a partir de los ejemplos e ilustraciones que se describen a continuación.

Con referencia a la FIG. 1, un almacén de cumplimiento de órdenes típico 10 incluye anaqueles 12 llenos con los diversos artículos que podrían incluirse en una orden 16. En funcionamiento, la orden 16 desde el servidor de administración de almacén 15 llega a un servidor de órdenes 14. El servidor de órdenes 14 comunica la orden 16 a un robot 18 seleccionado de una pluralidad de robots que monitorizan el almacén 10. También se muestra el área de carga 19, que es donde pueden ubicarse una o más estaciones de carga según un aspecto de la invención.

En una realización preferida, un robot 18, mostrado en las FIGS. 2A y 2B, incluye una base con ruedas autónoma 20 que tiene un radar láser 22. La base 20 presenta, además, un transceptor (no se muestra) que permite que el robot 18 reciba instrucciones desde el servidor de órdenes 14 y un par de cámaras ópticas digitales 24a y 24b. La base de robot incluye, además, un puerto de carga eléctrica 26 (representado con mayor detalle en las FIGS. 10 y 11) para recargar las baterías que alimentan la base con ruedas autónoma 20. La base 20 presenta, además, un procesador (no se muestra) que recibe datos desde las cámaras de láser y radar 24a y 24b para capturar información representativa del entorno del robot. Existe una memoria (no se muestra) que funciona con el procesador para realizar diversas tareas asociadas con la navegación dentro del almacén 10, así como para navegar al marcador fiduciario 30 colocado en los anaqueles 12, como se muestra en la FIG. 3. El marcador fiduciario 30 (por ejemplo, un código de barras bidimensional) corresponde al depósito/ubicación de un elemento ordenado. El enfoque de navegación de esta invención se describe en detalle más adelante con respecto a las FIGS. 4-8. Los marcadores fiduciarios se usan, además, para identificar estaciones de carga según un aspecto de esta invención y la navegación a tales marcadores fiduciarios de estación de carga es la misma que la navegación al depósito/ubicación de los elementos ordenados. Una vez que los robots navegan a una estación de carga, se usa un enfoque de navegación más preciso para fijar el robot con la estación de carga y dicho enfoque de navegación se describe a continuación.

Otra vez con referencia a la FIG. 2B, la base 20 incluye una superficie superior 32 en donde podría almacenarse una bolsa o depósito para portar artículos. También se muestra un acoplamiento 34 que acopla cualquiera de una pluralidad de armazones intercambiables 40, uno de los cuales se muestra en la FIG. 3. El armazón 40 particular de la FIG. 3 presenta un soporte de bolsa 42 (en este caso un anaquel) para portar una bolsa 44 que recibe artículos, y un soporte de tableta 46 (u ordenador portátil/otro dispositivo de entrada de usuario) para soportar una tableta 48. En algunas realizaciones, el armazón 40 soporta una o más bolsas para llevar artículos. En otras realizaciones, la base 20 soporta una o más bolsas para transportar los artículos recibidos. Como se usa en la presente descripción, el término "bolsa" incluye, sin limitarse a, soportes de carga, cajones, jaulas, estantes, varillas desde las cuales se pueden colgar artículos, chaflanes, cajas, sacos, soportes, botes, contenedores y repositorios.

Aunque un robot 18 se destaca al moverse alrededor del almacén 10, con la tecnología de robot actual, no es muy bueno para recoger elementos rápida y eficientemente de un anaquel y colocarlos en la bolsa 44 debido a las dificultades técnicas asociadas con la manipulación robótica de objetos. Una manera más eficiente de recoger elementos es usar un operador local 50, que es típicamente humano, para llevar a cabo la tarea de retirar físicamente un elemento ordenado de un anaquel 12 y colocarlo en el robot 18, por ejemplo, en la bolsa 44. El robot 18 comunica la orden al operador local 50 a través de la tableta 48 (o portátil/otro dispositivo de entrada de usuario), que el operador local 50 puede leer, o transmite la orden a un dispositivo portátil usado por el operador local 50.

Al recibir una orden 16 desde el servidor de órdenes 14, el robot 18 avanza a una primera ubicación de depósito, por ejemplo, como se muestra en la FIG. 3. Lo hace basándose en el software de navegación almacenado en la memoria y llevado a cabo por el procesador. El software de navegación depende de los datos relativos al entorno, según lo recogido por el láser-radar 22, una tabla interna en la memoria que identifica la identificación fiduciario ("ID") del marcador fiduciario 30 que corresponde a una ubicación en el almacén 10 donde puede encontrarse un elemento particular, y las cámaras 24a y 24b para navegar.

Después de alcanzar la ubicación correcta, el robot 18 se asienta delante de un anaquel 12 en el cual se almacena el elemento y espera que un operador local 50 recupere el elemento del anaquel 12 y lo coloque en una bolsa 44. Si el robot 18 tiene otros elementos para recuperar, avanza a esas ubicaciones. El(los) elemento(s) recuperado(s) por el robot 18 se entrega(n) después a una estación de empaquetado 100, FIG. 1, en donde se empaquetan y se envían.

Los expertos en la técnica entenderán que cada robot puede cumplir una o más órdenes y cada orden puede consistir en uno o más elementos. Típicamente, se incluiría alguna forma de software de optimización de ruta para aumentar la eficacia, pero esto está más allá del alcance de esta invención y, por lo tanto, no se describe en la presente descripción.

Para simplificar la descripción de la invención, se describe un solo robot 18 y operador 50. Sin embargo, como es evidente a partir de la FIG. 1, una operación de cumplimiento típica incluye muchos robots y operadores que trabajan entre sí en el almacén para llenar un flujo continuo de órdenes.

El enfoque de navegación de esta invención, así como el mapeo semántico de una SKU de un elemento que se recuperará en un ID fiduciario/posición asociado con un marcador fiduciario en el almacén en donde se localiza el elemento, se describen detalladamente a continuación con respecto a las FIGS. 4-8. Como se mencionó anteriormente, el mismo enfoque de navegación puede usarse para permitir que el robot navegue a una estación de carga para recargar su batería.

Mediante el uso de uno o más robots 18, debe crearse un mapa del almacén 10 y actualizarse dinámicamente para determinar la ubicación de objetos, tanto estáticos como dinámicos, así como las ubicaciones de varios marcadores fiduciarios dispersos en todo el almacén. Para hacer esto, uno de los robots 18 navega por el almacén y construye/actualiza un mapa 10a, FIG. 4, mediante el uso de su láser radar 22 y localización y mapeo simultáneos (SLAM), que es un método computacional para construir o actualizar un mapa virtual de un entorno desconocido. Los métodos populares de solución aproximados SLAM incluyen el filtro de partículas y el filtro extendido de Kalman. El enfoque SLAM GMapping es el enfoque preferido, pero puede usarse cualquier enfoque SLAM adecuado.

El robot 18 usa su radar láser 22 para crear/actualizar el mapa 10a del almacén 10 a medida que el robot 18 se desplaza por todo el espacio que identifica el espacio abierto 112, las paredes 114, los objetos 116 y otros obstáculos estáticos, tales como los anaqueles 12a en el espacio, en base a las reflexiones que recibe a medida que el radar láser explora el entorno.

Mientras se construye el mapa 10a o después de eso, uno o más robots 18 navegan a través del almacén 10 mediante el uso de cámaras 24a y 24b para explorar el entorno para localizar marcadores fiduciarios (códigos de barras bidimensionales) dispersos en todo el almacén en anaqueles próximos a los depósitos, tales como 32 y 34, FIG. 3, en los cual se almacenan artículos. Los robots 18 usan un punto o origen de referencia conocidos para referencia, tal como el origen 110. Cuando un marcador fiduciario, tal como un marcador fiduciario 30, FIGS. 3 y 4, se localiza mediante el robot 18 mediante el uso de sus cámaras 24a y 24b, se determina la ubicación en el almacén con relación al origen 110. Mediante el uso de dos cámaras, una a cada lado de la base del robot, como se muestra en la Fig. 2A, el robot 18 puede tener un campo visual relativamente amplio (por ejemplo, 120 grados) que se extiende desde ambos lados del robot. Esto permite que el robot vea, por ejemplo, marcadores fiduciarios en ambos lados del robot a medida que se desplaza hacia arriba y hacia abajo de los pasillos de anaqueles.

Mediante el uso de codificadores de rueda y sensores de cabecera, puede determinarse el vector 120, y la posición del robot en el almacén 10. Mediante el uso de la imagen capturada de un marcador fiduciario/código de barras bidimensional y su tamaño conocido, el robot 18 puede determinar la orientación con respecto a y la distancia del robot del vector de marcador fiduciario/código de barras bidimensional 130. Con los vectores 120 y 130 conocidos, puede determinarse el vector 140, entre el origen 110 y el marcador fiduciario 30. A partir del vector 140 y la orientación determinada del marcador fiduciario/código de barras bidimensional con relación al robot 18, puede determinarse la posición (posición y orientación) definida por una cuaternización (x, y, z, ω) para el marcador fiduciario 30.

El diagrama de flujo 200, FIG. 5, que describe el proceso de ubicación del marcador fiduciario. Esto se realiza en un modo de mapeo inicial y a medida que el robot 18 encuentra nuevos marcadores fiduciarios en el almacén mientras se realiza la recogida, colocación y/u otras tareas. En la etapa 202, el robot 18 mediante el uso de las cámaras 24a y 24b captura una imagen y en la etapa 204 busca marcadores fiduciarios dentro de las imágenes capturadas. En la etapa 206, si se encuentra un marcador fiduciario en la imagen (etapa 204), se determina si el marcador fiduciario ya está almacenado en la tabla fiduciario 300, FIG. 6, que se ubica en la memoria 34 del robot 18. Si la información fiduciaria ya se almacena en la memoria, el diagrama de flujo regresa a la etapa 202 para capturar otra imagen. Si no está en memoria, la posición se determina según el proceso descrito anteriormente y en la etapa 208, se añade al fiduciario en la tabla de búsqueda de posiciones 300.

En la tabla de búsqueda 300, que puede almacenarse en la memoria de cada robot, se incluye para cada marcador fiduciario una identificación fiduciario, 1, 2, 3, etc., y una posición para el marcador fiduciario/código de barras asociado con cada identificación fiduciario. La posición consiste en las coordenadas x,y,z en el almacén junto con la orientación o la cuaternización (x,y,z, ω) .

En otra tabla de consulta 400, FIG. 7, que también puede almacenarse en la memoria de cada robot, hay una lista de ubicaciones de depósitos (por ejemplo, 402a-f) dentro del almacén 10, que se correlacionan con ID fiduciarios 404 particulares, por ejemplo, número "11". Las ubicaciones de los depósitos, en este ejemplo, consisten en siete caracteres alfanuméricos. Los primeros seis caracteres (por ejemplo, L01001) corresponden a la ubicación del anaquel dentro del almacén y el último carácter (por ejemplo, A-F) identifica el depósito específico en la ubicación del anaquel. En este ejemplo, hay seis ubicaciones de depósitos diferentes asociadas con el ID fiduciario "11".

Puede haber uno o más depósitos asociados con cada ID/marcador fiduciario. Estaciones de carga ubicadas en el área de carga 19, FIG. 1, puede almacenarse, además, en la Tabla 400 y correlacionarse con identificadores fiduciarios. A partir de los identificadores fiduciarios, la base de la estación de carga puede encontrarse en la tabla 300, FIG. 6.

Las ubicaciones de los depósitos alfanumérico son comprensibles para los seres humanos, por ejemplo, el operador 50, FIG. 3, como corresponde a una ubicación física en el almacén 10 donde se almacenan los artículos. Sin embargo, no tienen que significar al robot 18. Mediante el mapeo de las ubicaciones a los ID fiduciarios, el robot 18 puede determinar la posición del ID fiduciario mediante el uso de la información en la Tabla 300, Fig. 6 y, después, navegar hasta la posición como se describe en la presente descripción.

El proceso de cumplimiento de la orden según esta invención se representa en el diagrama de flujo 500, FIG. 8. En la etapa 502, el sistema de gestión del almacén 15, FIG. 1, obtiene una orden, que puede consistir en uno o más artículos a recuperar. En la etapa 504, el(los) número(s) SKU de los artículos se determina(n) por el sistema de gestión de depósitos 15, y a partir del(de los) número(s) SKU, la(s) ubicación(es) de los depósitos se determina(n) en la etapa 506. Una lista de ubicaciones de los depósitos para el pedido se transmite después al robot 18. En la etapa 508, el robot 18 correlaciona las ubicaciones de los depósitos con ID fiduciario y a partir del ID fiduciario, se obtiene el aspecto de cada ID fiduciario en la etapa 510. En la etapa 512, el robot 18 navega hasta la posición, como se muestra en la FIG. 3, donde un operador puede elegir el elemento que va a recuperarse del depósito apropiado y colocarlo en el robot.

La información específica de un elemento, tal como el número SKU y la ubicación del depósito, obtenida por el sistema de gestión del almacén 15, puede transmitirse a la tableta 48 en el robot 18, de manera que el operador 50 pueda ser informado de los elementos particulares a recuperar cuando el robot llega a cada ubicación de marcador fiduciario.

Con el mapa SLAM y la posición del ID fiduciario conocido, el robot 18 puede navegar fácilmente a cualquiera de los ID fiduciarios mediante el uso de varias técnicas de navegación de robot. El enfoque preferido implica establecer una ruta inicial al marcador fiduciario planteado dado el conocimiento del espacio abierto 112 en el almacén 10 y las paredes 114, anaqueles (tal como el anaquel 12) y otros obstáculos 116. A medida que el robot comienza a atravesar el almacén mediante el uso de su radar láser 22, determina si hay obstáculos en su trayecto, ya sea fijos o dinámicos, tales como otros robots 18 y/u operadores 50, y actualiza iterativamente su trayecto a la posición del marcador fiduciario. El robot replanea su ruta aproximadamente una vez cada 50 milisegundos, buscando constantemente el trayecto más eficiente y eficaz, al mismo tiempo que evita obstáculos.

Generalmente, la localización del robot dentro del almacén 10a se logra mediante muchas coincidencias de exploración de múltiples resoluciones (M3RSM) que opera en el mapa virtual SLAM. En comparación con los métodos de fuerza bruta, M3RSM reduce drásticamente el tiempo computacional para que un robot realice el cierre de bucle SLAM y la coincidencia de exploración, dos etapas críticas en la determinación de la posición y ubicación del robot. La localización robótica mejora aún más al minimizar el espacio de búsqueda de M3SRM según los métodos descritos en la solicitud relacionada de los EE. UU. con núm. de serie 15/712.222, titulada COINCIDENCIA DE EXPLORACIÓN DE MÚLTIPLES RESOLUCIONES CON ZONAS DE EXCLUSIÓN, presentada el 22 de septiembre de 2017.

Con el producto SKU/ID fiduciario a la técnica de mapeo de posición fiduciario combinado con la técnica de navegación SLAM, ambas descritas en la presente descripción, los robots 18 pueden navegar de manera muy eficiente y eficaz el espacio del almacén sin tener que usar, típicamente, enfoques de navegación más complejos usados que implican líneas de cuadrícula y marcadores fiduciarios intermedios para determinar la ubicación dentro del almacén.

Generalmente, la navegación en presencia de otros robots y obstáculos móviles en el almacén se logra mediante métodos de prevención de colisiones que incluyen el enfoque dinámico de ventana (DWA) y prevención de colisiones recíprocas óptimas (ORCA). DWA calcula entre las trayectos de movimiento del robot factibles un movimiento incremental que evita colisiones con obstáculos y favorece el trayecto deseado para el marcador fiduciario objetivo. ORCA evita óptimamente colisiones con otros robots en movimiento sin requerir comunicación con el(los) otro(s) robot(s). La navegación procede como una serie de movimientos incrementales a lo largo de trayectos calculados en los intervalos de actualización de aproximadamente 50 ms. La evitación de colisiones puede mejorarse aún más mediante técnicas descritas en la solicitud relacionada de los EE. UU. con núm. de serie 15/712.256, titulada DYNAMIC WINDOW APPROACH USING OPTIMAL RECIPROCAL COLLISION AVOIDANCE COST-CRITIC (ENFOQUE DE VENTANA DINÁMICA USANDO EVITACIÓN DE COLISIONES RECÍPROCAS CRÍTICAS PARA EL COSTE), presentada el 22 de septiembre de 2017.

Como se describió anteriormente, los robots 50 deben recargarse periódicamente. Además de marcar ubicaciones en el almacén donde se almacenan artículos, puede colocarse un marcador fiduciario en una o más estaciones de carga eléctrica dentro del almacén. Cuando el robot 18 tiene baja potencia, puede navegar a un marcador fiduciario ubicado en una estación de carga eléctrica de manera que pueda recargarse. Una vez que

puede recargarse manualmente al hacer que un operador conecte el robot al sistema de carga eléctrica o el robot pueda usar su navegación para acoplarse a sí mismo en la estación de carga eléctrica.

5 Como se muestra en las FIGS. 9 y 10, la unidad 200 de carga eléctrica puede utilizarse en una estación de carga eléctrica. La unidad 200 de carga eléctrica incluye una base 202 de carga sobre la cual se dispone un primer miembro terminal macho 204 y un segundo miembro terminal macho 206. Aunque no se muestra en esta figura, una entrada eléctrica positiva del servicio eléctrico en el almacén se fijaría a la base 202 de carga y se conectaría eléctricamente a uno del primer miembro terminal macho 204 o del segundo miembro terminal macho 206. Además, se fijaría una entrada eléctrica negativa a la base 202 de carga y se conectaría eléctricamente al otro primer miembro terminal macho 204 o al segundo miembro terminal macho 206.

15 El primer miembro terminal macho 204 tiene una primera base 210 fijada a y que se extiende ortogonalmente a lo largo de un primer eje 212 desde la superficie 214 de la base 202 de carga y termina en un primer contacto eléctrico 216. El primer contacto eléctrico 216 puede ser en forma de una barra colectora de cobre que se extiende hacia la base 202 de carga a la cual se fijaría una de las conexiones eléctricas positivas o negativas. El segundo miembro terminal macho 206 tiene una segunda base 220 fijada a y que se extiende ortogonalmente a lo largo de un segundo eje 222 desde la superficie 214 de la base 202 de carga y termina en un segundo contacto eléctrico 226. El segundo contacto eléctrico 226 puede ser, además, en forma de una barra colectora de cobre que se extiende hacia la base 202 de carga a la cual se fijaría la otra de las conexiones eléctricas positivas o negativas.

20 El primer miembro terminal macho 204 tiene una pluralidad de superficies externas, al menos dos de las cuales tienen una forma curva desde la primera base 210 hasta el primer contacto eléctrico 216 que forma una superficie cóncava. En la realización representada en las Figs. 9 y 10 hay tres superficies curvas; a saber, la superficie curva superior 230 y las superficies curvas laterales opuestas 232 y 234, las tres de estas curvas desde la primera base 210 hasta el primer contacto eléctrico 216, con radios particulares de curvatura, que forman superficies cóncavas. En esta realización, el radio de curvatura de las superficies curvas del lado opuesto 232 y 234 es de aproximadamente 63,9 mm. El radio de curvatura de la superficie curva superior 230 es de aproximadamente 218,7 mm. Estos se determinaron empíricamente para proporcionar corrección de alineamiento optimizada. Se espera más desalineamiento en la dirección horizontal en comparación con la dirección vertical; por lo tanto, las superficies curvas laterales opuestas se proporcionan con un radio de curvatura más pequeño. Por supuesto, los radios de curvatura de las superficies curvas pueden variarse dependiendo de la aplicación.

35 Además, el primer miembro terminal macho 204 tiene una superficie plana 236 que es sustancialmente paralela al primer eje 212 y ortogonal a la superficie 214 de la base 202 de carga. La superficie plana 236 incluye una porción de superficie cóncava 238 próxima al primer contacto eléctrico 216.

40 El segundo miembro terminal macho 206 tiene una pluralidad de superficies externas, al menos dos de las cuales tienen una forma curva desde la segunda base 220 hasta el segundo contacto eléctrico 226, que forman una superficie cóncava. En la realización representada en las Figs. 9 y 10 hay tres superficies curvas; a saber, la superficie curva inferior 240 y las superficies curvas laterales opuestas 242 y 244, las tres de estas curvas desde la primera base 220 hasta el primer contacto eléctrico 226, con radios particulares de curvatura, que forman superficies cóncavas. En esta realización, el radio de curvatura de las superficies curvas del lado opuesto 242 y 244 es de aproximadamente 63,9 mm. El radio de curvatura de la superficie curva inferior 240 es de aproximadamente 218,7 mm. Estos se determinaron empíricamente para proporcionar corrección de alineamiento optimizada. Se espera más desalineamiento en la dirección horizontal en comparación con la dirección vertical; por lo tanto, las superficies curvas laterales opuestas se proporcionan con un radio de curvatura más pequeño. Por supuesto, los radios de curvatura de las superficies curvas pueden variarse dependiendo de la aplicación.

50 Además, el segundo miembro terminal macho 206 tiene una superficie plana 246 que es sustancialmente paralela al segundo eje 222 y ortogonal a la superficie 214 de la base 202 de carga. La superficie plana 246 incluye una porción de superficie ensanchada 248 próxima al segundo contacto eléctrico 226.

55 Existe una cavidad 250 formada entre el primer miembro terminal macho 204 y el segundo miembro terminal macho 206 definida por la al menos una superficie plana 236 del primer miembro terminal macho 204 y la al menos una superficie plana 246 del segundo miembro terminal macho 206. La cavidad 250 tiene una abertura 252 entre el primer contacto eléctrico 216 y el segundo contacto eléctrico 226. En la abertura 252, la porción de superficie rebajada 238 de la superficie plana 236 y la porción de superficie ensanchada 248 de la superficie plana 246 están presentes.

60 Otra vez con referencia a la FIGS. 9 y 10, los contactos metálicos 260a-e se disponen en la base 202 de carga. Estos contactos metálicos se acoplan con los imanes correspondientes en el puerto de carga eléctrica 300, descrito más adelante, y aseguran la unidad 200 de carga eléctrica y el puerto de carga eléctrica 300 en posición mientras se carga. Alternativamente, los imanes podrían disponerse en la base 202 de carga con los contactos metálicos en el puerto de carga 300.

Si el robot se acopla a una estación de carga eléctrica fija, puede usar la cámara 24a y 24b para maniobrarla a su posición, de manera que el puerto de carga eléctrica 300 pueda acoplarse con la unidad 200 de carga eléctrica. Las cámaras pueden usar los marcadores fiduciaros asociados con la estación de carga como un punto de referencia para localización fina, que se describirá en mayor detalle más abajo. A medida que el robot se manobra en posición, puede ser difícil lograr una alineación perfecta para el acoplamiento de los contactos eléctricos 216 y 226 de la unidad eléctrica 200 con los contactos eléctricos 304 y 306, respectivamente, del puerto de carga eléctrica 300. Por lo tanto, la unidad 200 de carga eléctrica y el puerto de carga eléctrica 300 se han diseñado específicamente para asegurar un acoplamiento más fácil, más eficiente y menos problemático para permitir que los robots se recarguen eléctricamente más rápidamente.

Como puede observarse en las FIGS. 11 y 12, el puerto de carga eléctrica 300 incluye una primera cavidad 308 y una segunda cavidad 310, configuradas para recibir y acoplarse con el primer miembro terminal macho 204, el segundo miembro terminal macho 206, respectivamente, de la unidad 200 de carga eléctrica, a medida que se acopla la base del robot 20a. La cavidad 308 tiene superficies curvas cóncavas 312 que son complementarias a las superficies curvas 230, 232 y 234 del primer miembro terminal macho 204. En otras palabras, la primera cavidad 308 puede incluir superficies curvas 312 que tienen radios de curvatura sustancialmente iguales a los radios de curvatura de las superficies curvas externas (230, 232 y 234) del primer miembro terminal macho 204. Sustancialmente igual en este caso significa solo ligeramente más grande para permitir la inserción y la retirada del primer miembro terminal macho 204 en la cavidad 308. La cavidad 310 tiene, además, superficies curvas cóncavas 314 que son complementarias a las superficies curvas 240, 242 y 244 del segundo miembro terminal macho 206. En otras palabras, la segunda cavidad 310 puede incluir superficies curvas 314 que tienen radios de curvatura sustancialmente iguales a los radios de curvatura de las superficies curvas externas (240, 242 y 244) del segundo miembro terminal macho 206. Sustancialmente igual en este caso significa solo ligeramente más grande para permitir la inserción y la retirada del segundo miembro terminal macho 206 en la cavidad 310.

Las aberturas de las cavidades 308 y 310 son más anchas y más largas que el ancho/longitud de los contactos eléctricos 216/226 del primer miembro terminal macho 204 del segundo miembro terminal macho 206. El ancho/longitud extra permite que el segundo miembro terminal macho 204 del primer miembro terminal macho 206 se reciba más fácilmente dentro de las cavidades 308 y 310 incluso si están algo desalineados en las direcciones horizontal/vertical durante el proceso de acoplamiento. A medida que el robot se mueve hacia la unidad 200 de carga eléctrica, el acoplamiento de las superficies curvas complementarias hace que el primer miembro terminal macho 204 y el segundo miembro terminal macho 206 sean guiados en alineación de manera que se produzca el acoplamiento entre los contactos eléctricos 216/226 de la unidad de carga eléctrica y los contactos eléctricos 304/306 del puerto de carga eléctrica 300.

Por lo tanto, los radios de las partes de acoplamiento (miembros terminales macho y cavidades) están diseñados para proporcionar alineación gruesa cuando los miembros terminales macho se insertan primero en las cavidades y se ajusta finamente a medida que se acerca a la inserción completa.

El sistema de carga eléctrica proporciona una característica adicional para facilitar la alineación vertical. Esto se logra mediante la interacción del divisor 320, que se encuentra entre las cavidades 308 y 310, en combinación con la abertura 352 de la cavidad 350 de la unidad 200 de carga eléctrica. La porción de superficie ensanchada 248 proporciona una abertura más ancha, de manera que, si hay una desalineación vertical, provoca que el divisor 320 se monte verticalmente en posición en la cavidad 350, a medida que se produce el proceso de acoplamiento.

Cuando el primer y segundo terminales macho 204 y 206 se insertan totalmente en las cavidades 308 y 310, la unidad 200 de carga eléctrica se asegura en posición con el puerto de carga eléctrica 300 por medio de imanes 360a-e, que se acoplan con los contactos metálicos 260a-e en la unidad 200 de carga eléctrica. Los imanes pueden disponerse debajo de la superficie externa del puerto de carga eléctrica 300 y, como tales, se muestran en líneas discontinuas.

Existe una característica adicional incluida en el sistema de carga eléctrica, que es útil en el caso de carga manual por parte de un operador. Si la unidad 200 de carga eléctrica se insertó incorrectamente en el puerto de carga eléctrica 300, es decir, al revés con el contacto eléctrico 216 de la unidad 200 de carga eléctrica conectada a los contactos eléctricos 306 del puerto de carga eléctrica 300 y con el contacto eléctrico 226 de la unidad de carga eléctrica conectada a los contactos eléctricos 304 del puerto de carga eléctrica 300, se invertirían las polaridades y se produciría un daño significativo a la base del robot 20a.

Para evitar que esto suceda, un tope 330 (ver las FIGS. 11 y 12) se incluye en la superficie del divisor 320 del puerto de carga eléctrica 300. El tope 330 tiene una porción de superficie en ángulo 332 y una porción de superficie plana 334. Como se muestra en la FIG. 10, dentro de la cavidad 250 de la unidad 200 de carga eléctrica, hay una porción de superficie empotrada 238, que permite la inserción total de la unidad 200 de carga eléctrica en el puerto de carga eléctrica 300. La cavidad 238 permite holgura por parte del primer miembro terminal macho 204 del tope 330 a medida que la porción 332 de superficie inclinada y la porción 334 de superficie plana del tope 330 se acoplan con la porción inclinada y la porción plana de la porción de superficie cóncava 238 como una pieza de rompecabezas. Si la unidad 200 de carga

eléctrica estuviera invertida, cuando se inserta en la superficie 246 del puerto de carga eléctrica 300 del segundo miembro terminal macho 206 contactaría con el tope 330 y se evitaría que se inserte completamente y entre en contacto con los contactos eléctricos 304.

5 Como se muestra en la FIG. 12, cuando los contactos eléctricos 216 y 226 de los miembros terminales macho 204 y 206, respectivamente, se acoplan con los contactos eléctricos 304 y 306, los contactos eléctricos 304 y 306 se comprimen, ya que estos contactos pueden ser en forma de pasadores cargados por resorte. Los contactos eléctricos 304 y 306 pueden comprimirse desde su posición completamente extendida en la línea 400 hasta su posición comprimida (no se muestra) en la línea 402. Se muestra que cada uno de los contactos eléctricos 304 y 306 incluye
10 cinco pasadores cargados por resorte. El número de pasadores utilizados depende de la corriente eléctrica que se espera sea transportada durante el proceso de carga y la capacidad de los pasadores individuales. El uso de múltiples pasadores cargados por resorte para los contactos eléctricos es beneficioso para asegurar el contacto adecuado con los contactos eléctricos 216 y 226 de los miembros terminales macho 204 y 206 incluso en el caso de variaciones de fabricación y desgaste en los componentes.

15 Cuando los contactos eléctricos 304 y 306 están en la posición comprimida, los imanes 360a-e del puerto de carga eléctrica 300 están muy próximos a los contactos metálicos 260a-e de la unidad 200 de carga eléctrica y se acoplan magnéticamente para asegurar en posición la unidad 200 de carga eléctrica y el puerto de carga eléctrica 300. En esta posición, puede observarse que las superficies curvas superior e inferior 230 y 240 de los miembros terminales macho 204 y 206, respectivamente, se acoplan complementariamente con las superficies 312 y 314 de las cavidades 308 y 310, respectivamente.

20 Se ilustra, además, en la FIG. 12 están la barra colectora 410 del primer miembro terminal macho 204 y la barra colectora 412 del segundo miembro terminal macho 206. Las barras colectoras se conectan a un soporte 414 para fijarlas dentro de la unidad 200 de carga eléctrica en el extremo opuesto a los contactos eléctricos 216 y 226.

25 Una estación de acoplamiento de carga 500 según un aspecto de esta invención se representa en las FIGS. 13-16 y 17. Con referencia particular a las FIGS. 13 y 14, la estación de acoplamiento del cargador 500 incluye una unidad 200 de carga eléctrica, como se describió anteriormente, que se proyecta desde la cubierta delantera 502 de la estación de acoplamiento del cargador 500. La unidad 200 de carga eléctrica se monta en la estación de acoplamiento de cargador 500 sobre el soporte de fuelle de caucho con forma de U 504 para sellar la abertura 506 en la cubierta frontal 502 mientras que también permite que la unidad 200 de carga eléctrica se mueva en seis grados de libertad (como se describirá más adelante) para facilitar un proceso de acoplamiento suave de un robot cuando se necesita recarga.

30 Además, se muestra un parachoques de protección 508, que puede fabricarse de metal, montado horizontalmente a través de la porción inferior de la cubierta delantera 502 para proteger la estación de acoplamiento del cargador 500 de daños en caso de que un robot no se acople suavemente. La estación de acoplamiento de carga 500 incluye, además, una cubierta lateral derecha 510 y una cubierta lateral izquierda 512 (no visible en la FIG. 13A). En la abertura 514a de la cubierta lateral derecha se ubica un área de sujeción 516a que permite insertar una mano para levantar más fácilmente la
35 estación de acoplamiento del cargador 500, como se muestra en la Fig. 15A. Aunque no es visible en esta vista, una abertura y área de sujeción similares se incluyen en la cubierta lateral izquierda 512, que se ilustran en la FIG. 16A como abertura 514b y área de sujeción 516b. Además, en una abertura en la parte posterior de la cubierta lateral derecha 510 se muestran aberturas de ventilación 518a para proporcionar enfriamiento para los componentes eléctricos dentro de la estación de acoplamiento del cargador 500. Un respiradero similar 518B se incluye en la cubierta lateral izquierda 512 visible en la FIG. 16A.

40 Un marco metálico que comprende un miembro de marco anterior 520a, un miembro de marco lateral derecho 520b, un miembro de marco lateral izquierdo 520c y un miembro de marco lateral posterior 520d se interconectan para formar la estructura de base para la estación de acoplamiento 500 de cargador. Con referencia a la FIG. 13B, cada uno de los miembros de marco se asegura a un piso en el almacén por medio de pernos 521a-d y el parachoques de protección 508 se asegura al marco metálico 520 mediante el miembro de marco anterior 520a. Dado que el parachoques de protección 508 es externo y sobresale de la cubierta delantera 502, es el primer punto de impacto con un robot a medida que se acopla con la estación de acoplamiento 500 del cargador. En el caso de un impacto accidental de alta fuerza de un robot, tales fuerzas altas se impartirán en el parachoques de protección en lugar de en la cubierta
45 delantera 502. La cubierta delantera 502, así como la cubierta del lado derecho 510 y la cubierta del lado izquierdo 512 se fabrican, típicamente, de un material plástico duro y son susceptibles a agrietarse/romperse si sufren un impacto de un robot. Las fuerzas impartidas sobre el parachoques de protección 508 se desvían aún más al marco metálico 520 a través del miembro de marco frontal 520a. El miembro de marco anterior 520a comprende un miembro en forma de C que se extiende a través del ancho de la estación 500 de carga y una pestaña integrada y que se extiende desde una superficie superior del miembro en forma de C. El amortiguador de protección 508 se interconecta a la pestaña por medio de una pluralidad de aberturas en la cubierta delantera 502. Las fuerzas desde el parachoques 508 se transmiten al miembro de marco anterior a través de la pestaña y el miembro en forma de C y además se transmiten a los miembros de marco laterales derecho, izquierdo y posterior 520b-d. Finalmente, las fuerzas se transmiten a través de pernos 521a-d hacia el piso del almacén. Por lo tanto, este sistema de amortiguador de protección absorbe y desvía
50 las fuerzas impartidas por un robot lejos de la cubierta delantera de plástico duro 502, lo que la protege de daños.

La cubierta superior 524, que se fabrica, además, de un material plástico duro, incluye un panel de interfaz de usuario 526 dispuesto en una cavidad en la superficie de la cubierta superior 524 que puede incluir ciertos indicadores y controles para que un usuario opere la estación de acoplamiento del cargador. Por ejemplo, pueden incluirse señales de iluminación para indicar varios estados, tales como “Listo”, “Carga”, “Encendido”, “Modo de recuperación” y “Fallo” o “Parada de emergencia”. Pueden incluirse botones, tales como “Encendido/apagado”, “Iniciar carga manual”, “Desactivar”, “Restablecer” y “Parada de emergencia”.

A lo largo del borde posterior de la cubierta superior 524 hay un panel posterior 528, que comprende una sección de panel central 530 y secciones de panel lateral 532 y 534 en los lados derecho e izquierdo, respectivamente, del panel central 530. El panel central 530 tiene una superficie frontal rectangular 536 que es prácticamente paralela a la cubierta frontal 502. El panel lateral derecho 532 tiene una superficie frontal rectangular 538 y el panel lateral izquierdo 534 tiene una superficie frontal rectangular 540.

Los paneles laterales derecho e izquierdo 532 y 534 tienen paredes laterales anchas 542 y 544, respectivamente, en un lado y convergen a anchos más estrechos en los otros lados que se interconectan con la sección de panel central 530. Por lo tanto, los paneles laterales derecho e izquierdo 532 y 534 tienen forma de cuña. Como resultado, sus superficies delanteras 538 y 540 no son paralelas a la superficie delantera 536 del panel central 530 ni a la cubierta delantera 502. Cada una de ellas se dispone en un ángulo, Θ , con respecto a la superficie 536. Unos marcadores fiduciarios 546 y 548 (por ejemplo, un código de barras bidimensional) dispuestos en las superficies delanteras 538 y 540, respectivamente, se disponen, además, en el ángulo, Θ , con relación a la superficie delantera 536 y a la cubierta delantera 502.

Como se describirá detalladamente a continuación, en un aspecto, los robots pueden usar los marcadores fiduciarios en ángulo para navegación de precisión durante el proceso de acoplamiento con la estación de acoplamiento del cargador al visualizarlos con sus cámaras integradas. Para navegar, generalmente, a la estación de acoplamiento del cargador cuando se necesita recarga, los robots navegan de la misma manera que lo hacen cuando navegan a los depósitos de productos como se describió anteriormente. La estación 500 de carga puede asociarse con una posición ubicada en estrecha proximidad a la cubierta delantera 502 y generalmente alinearse (rotacionalmente) de manera que las cámaras a bordo de los robots se orienten hacia el panel posterior 528.

Con referencia a la FIGS. 13B y 14B, unos miembros amoldables 550a-d, que pueden incluir resortes, se conectan a unas patas 551a-d (las patas 551c y 551d no son visibles), respectivamente, en la unidad 200 de carga eléctrica para permitir una cierta cantidad de movimiento en los seis grados de libertad para representar pequeños errores en la navegación del robot a la estación de acoplamiento del cargador mientras aún permite una conexión eléctrica y mecánica adecuada entre la unidad 200 de carga eléctrica y el puerto de carga eléctrica 300, como se muestra en la FIG. 12, por ejemplo.

Además, como puede observarse en la FIG. 15B, un resorte de gas 552 está conectado a la unidad 200 de carga eléctrica para estabilizarla a medida que se mueve a lo largo del eje del resorte de gas 552 como indican las flechas 554 y 555. El resorte de gas 552 está montado en el marco 556 que está fijado al panel de piso 558 de la estación de acoplamiento 500 del cargador. A medida que el robot se mueve hacia la estación de acoplamiento 500 de carga durante el proceso de acoplamiento, el puerto de carga eléctrica 300 (descrito anteriormente) entra en contacto con la unidad 200 de carga eléctrica y aplica una fuerza en la dirección de la flecha 554. El resorte 552 de gas proporciona resistencia en la dirección de la flecha 555 suficiente para permitir cierta cantidad de movimiento durante el acoplamiento del puerto de carga eléctrica 300 con la unidad 200 de carga eléctrica, pero evitar que el movimiento excesivo en la dirección de la flecha 554 actúe como tope y asegure el acoplamiento adecuado.

Además, a medida que el puerto de carga eléctrica 300 se retrae de la unidad 200 de carga eléctrica durante el proceso de desacoplamiento, debido a la conexión magnética entre la unidad 200 de carga eléctrica y el puerto de carga eléctrica 300 (descrito anteriormente), la unidad 200 de carga eléctrica se estirará en la dirección de la flecha 555 hasta que se supere la fuerza magnética. El resorte 552 de gas asegura, además, que el movimiento sea limitado, al proporcionar una fuerza en la dirección de la flecha 554.

Si bien el puerto de carga eléctrica 300 (que es la porción hembra del conector) se describe en la presente descripción que se monta en el robot y la unidad 200 de carga eléctrica (que es la porción macho del conector) se describe en la presente descripción como montada en la estación de carga, por supuesto, estos componentes podrían invertirse. En cuyo caso, el puerto de carga eléctrica 300 se montaría en la estación de carga y la unidad 200 de carga eléctrica se montaría en el robot. Además, como será evidente para los expertos en la materia, pueden usarse otros puertos y diseños de cargador en conexión con las realizaciones descritas en la presente descripción.

Otra vez con referencia a la FIG. 13B, el panel superior 560, que se soporta en parte por las patas 562 y 564 de marco montadas en el panel de piso 558, incluye una cavidad en la que se alojan la placa 572 de controlador y una placa de transceptor infrarrojo (IR) 574. La placa 572 de controlador proporciona un control general de la estación de acoplamiento del cargador 500, que incluye activar los protocolos de carga, seleccionar parámetros y perfiles de carga, monitorizar las condiciones y el estado de carga (por ejemplo, el estado de carga y la

temperatura de la batería) y las comunicaciones con el robot, todos los cuales se describen en mayor detalle más abajo. La placa 574 de transceptor IR se usa para la comunicación con el robot durante los procesos de acoplamiento y carga y puede usar un protocolo de comunicaciones IrDA (Asociación de datos infrarrojos).

5 Siguiendo con la referencia a la FIG. 13B, así como a la FIG. 15B, se muestra que el panel de pared posterior 580 soporta el suministro 582 de energía que es alimentado por la energía del almacén. El panel 580 de pared posterior puede funcionar, además, como un disipador de calor para el suministro 582 de energía y puede fabricarse de un metal diferente al de los otros paneles para conducir mejor el calor. El panel posterior 580
10 soporta además el panel superior 560 junto con las patas de marco 562 y 564. La energía del almacén se alimenta a la estación de acoplamiento del cargador 500 a través del conector 584, que puede ser un conector IEC, por ejemplo. La pared 586 conectada al panel de piso 558 y colocada adyacente al conector 584 puede usarse para proporcionar protección adicional al suministro de energía a la estación de acoplamiento del cargador.

15 Las FIGS. 16A y 16B proporcionan una vista en perspectiva desde la parte posterior de la estación de acoplamiento del cargador 500 con la cubierta encendida y apagada, respectivamente. Estas vistas permiten, además, ver el lado derecho de la estación de acoplamiento del cargador. En la Fig. 16, se muestra que una pared posterior 580 incluye un puerto 592 a través del cual se alimenta el suministro de energía de la casa para conectarse al conector eléctrico 584. La parte posterior del conector eléctrico 584 puede verse sobresaliendo a través de un orificio en la pared posterior 580,
20 FIG. 16B.

Acoplamiento del robot

25 El acoplamiento de un robot a la estación de carga eléctrica 500 para la recarga, según una realización, se describe con respecto a las FIGS. 17 y 18. En la Fig. 17, el robot 18 que tiene el puerto de carga eléctrica 300 se muestra acoplado a la unidad 200 de carga eléctrica de la estación 500 de carga. El robot 18 puede, por ejemplo, desplazarse a la ubicación 600, que está definida por una posición almacenada para la estación de carga. La navegación a la posición 600 se realiza de la manera descrita anteriormente para navegar robots por todo el almacén a varias ubicaciones de depósito. Una vez en la posición 600, se realiza un proceso de navegación de precisión para posicionar el robot 18 en la ubicación 602, en cuya ubicación el puerto de carga eléctrica 300 se
30 acopla con la unidad 200 de carga eléctrica y el robot 18 se acopla a la estación 500 de carga para la recarga.

Uno de tales procesos de acoplamiento de precisión usa la orientación de las superficies 538 y 540 (y los fiduciales 546 y 548, respectivamente) con respecto a las cámaras 24a y 24 se describe con respecto a la Fig. 18. Como se muestra en la Fig. 18, el robot 18 se ubica en la posición 602, por lo tanto, se acopla a la estación 500 de carga. En esta posición, se muestra que el campo visual ϕ de la cámara 24a (aproximadamente 79,4 grados) se extiende a través de las superficies 536 y 538. El eje óptico 610 (es decir, la línea central del campo de visión o $\phi/2$) de la cámara 24a se cruza con la superficie 38 y el fiducial 46 en un ángulo sustancialmente perpendicular. Además, en esta posición, se muestra que el campo de visión ϕ de la cámara 24b (aproximadamente 79,4 grados) se extiende a lo largo de las superficies 536 y 540,
40 superponiendo ligeramente el campo visual de la cámara 24a. El campo de visión combinado de las cámaras proporciona al robot 18 un campo de visión eficaz de aproximadamente 120 grados. El campo de visión combinado es menor que la suma de los campos de visión de las cámaras, debido a que las secciones superpuestas crean un punto ciego para el robot.

45 El eje óptico 612 (es decir, la línea central del campo de visión o $\phi/2$) de la cámara 24b se cruza con la superficie 40 y el fiducial 48 en un ángulo perpendicular. Para asegurar que cuando se acoplan los ejes ópticos de las cámaras se alineen perpendicular a las superficies 538 y 540, el ángulo Θ que es la orientación de las superficies 538 y 540 con respecto a la superficie 536 debe fijarse adecuadamente. En este ejemplo, el ángulo Θ es de aproximadamente 150 grados. Al ubicar los fiduciales de esta manera, se incrementa la visibilidad de los fiduciales por las cámaras 24a y
50 24b.

Como se describió anteriormente, dado que las cámaras están desplazadas desde el centro del robot, estas se combinan para proporcionar un campo visual amplio. Sin embargo, la orientación de las cámaras hace que la visión de los fiduciales en la estación de carga sea desafiante. Para abordar este problema, los fiduciales pueden orientarse en un ángulo para alinearse mejor con las cámaras, lo que hace que los fiduciales sean más fáciles de leer con mayor precisión. Esto puede lograrse al orientar el eje óptico de la cámara para que esté en un ángulo sustancialmente perpendicular y centrado en el fiducial cuando el robot está en la posición acoplada, como se muestra en la Fig. 18.

60 Una vez en la posición 600, la FIG. 17, el robot puede hacer uso de las posiciones y orientaciones percibidas de los fiduciales 546 y 548 en las superficies 538 y 540, respectivamente, en sus marcos de cámara. En la posición 600, el robot 18 está lo suficientemente cerca para percibir los fiduciales 546 y 548 y está aproximadamente centrado en la estación 500 de carga. Puede usarse un algoritmo de control de acoplamiento que permite que los errores en el robot naveguen a esta ubicación inicial de la posición. En otras palabras, el enfoque de navegación usado para llegar a la posición 600, que puede usar mapas de resolución de 5 cm, puede no posicionar con precisión el robot 18
65 en la ubicación de la posición. Mientras está ubicado nominalmente en la posición 600, el robot 18 obtiene

información sobre la posición y la orientación de los fiduciarios 546 y 548 mediante el uso de sus cámaras 24a y 24b. A medida que se desplaza hacia la estación 500 de carga, intenta minimizar dos cantidades de error de la siguiente manera:

5 (1) Cada cámara detectará un fiduciario: las cámaras izquierda y derecha detectarán los fiduciarios izquierdo y derecho, respectivamente. Los fiduciarios, una vez detectados, pueden transformarse internamente de manera que para el robot parecen estar perfectamente perpendiculares al trayecto del robot (es decir, "planos", como se percibe desde la cámara, en lugar de parecer sesgados). Entonces podemos detectar los tamaños relativos de cada marcador fiduciario, y usarlos para determinar si el robot está más cerca de un fiduciario que del otro. Esto indica que el robot no está perfectamente centrado en su enfoque y necesita moverse hacia la línea central. Si nos referimos al área de píxeles del fiduciario izquierdo corregido como SL y al área de píxeles del fiduciario derecho corregido como SR, entonces el robot necesita minimizar $|SR - SL|$.

10
15 (2) Dentro de la imagen de la cámara izquierda, el fiduciario de acoplamiento izquierdo estará a una cierta cantidad de píxeles desde el lado derecho de la imagen. Denominaremos este número DL. De la misma manera, para la imagen de la cámara derecha, el fiduciario de acoplamiento derecho estará a una cierta cantidad de píxeles DR desde el lado izquierdo de la imagen. Por lo tanto, el robot necesita minimizar $|DR - DL|$.

20 Dado que el robot necesita corregir el error en (1) primero, emitimos una velocidad lineal constante al robot y emitimos una velocidad de rotación de kS ($SR - SL$) al robot hasta que este valor quede por debajo de cierto umbral TS. El término kS es una constante de control proporcional cuyo valor está en el intervalo $(0, 1]$. Cuando se satisface el umbral TS, el robot intenta minimizar el error en (2) al emitir una velocidad de rotación al robot de kD ($DR - DL$), en donde kD es, además, una constante de control proporcional en el intervalo de $(0, 1]$. Continuamos haciendo esto hasta que (a) el robot alcance la base de acoplamiento, o (b) el error $|SL - SR|$ crezca fuera del umbral TS, momento en el cual regresamos a minimizar el error en (1).

25 El enfoque de navegación de precisión descrito anteriormente es un ejemplo de varios enfoques que podrían usarse para el robot de acoplamiento 18 con la estación 500 de carga. En otras realizaciones, el enfoque de navegación de precisión que hace que el robot se acople al sistema de carga eléctrica puede usar técnicas similares a las usadas por el robot más generalmente cuando se navega por el almacén.

30 La siguiente descripción del sistema robótico y la navegación del robot, incluyendo los ejemplos dados para navegar el robot al sistema de carga, no limita las técnicas mostradas y descritas a continuación para localizar y controlar el robot durante el acoplamiento de precisión. Es decir, otras técnicas para navegar el robot a la posición inicial del sistema de carga pueden emplearse por robots que tienen sistemas y operación alternativos sin pérdida de aplicación de la invención en la presente descripción a las técnicas descritas para el acoplamiento de precisión.

35 Sistema robótico

40 FIG. 19 ilustra una vista del sistema de una realización del robot 18 para usar en la aplicación de almacén de cumplimiento de orden descrita anteriormente. El sistema robótico 614 comprende un procesador de datos 620, un almacenamiento de datos 630, unos módulos de procesamiento 640 y unos módulos de soporte del sensor 660. Los módulos de procesamiento 640 pueden incluir un módulo de planificación de trayecto 642, un módulo de control de accionamiento 644, un módulo de procesamiento de mapas 646, un módulo de localización 648 y un módulo de estimación de estado 650. Los módulos de soporte del sensor 660 pueden incluir un módulo de sensor de rango 662, un módulo de codificador de tren de accionamiento/rueda 664 y un módulo de sensor inercial 668.

45 El procesador de datos 620, los módulos de procesamiento 640 y los módulos de soporte del sensor 660 son capaces de comunicarse con cualquiera de los componentes, dispositivos o módulos en la presente descripción mostrados o descritos para el sistema robótico 614. Puede incluirse un módulo transceptor 670 para transmitir y recibir datos. El módulo transceptor 670 puede transmitir y recibir datos e información hacia y desde un sistema supervisor o hacia y desde uno u otros robots. La transmisión y la recepción de datos puede incluir datos de mapa, datos de trayecto, datos de búsqueda, datos de sensor, datos de ubicación y orientación, datos de velocidad e instrucciones o código del módulo de procesamiento, parámetros robóticos y configuraciones ambientales, y otros datos necesarios para la operación del sistema robótico 614.

50 En algunas realizaciones, el módulo sensor de rango 662 puede comprender uno o más de un láser de barrido, radar, localizador de rango láser, localizador de rango, detector de obstáculo ultrasónico, un sistema de estereovisión, un sistema de visión monocular, una cámara y una unidad de formación de imágenes. El módulo sensor de rango 662 puede escanear un entorno alrededor del robot para determinar una ubicación de uno o más obstáculos con respecto al robot. En una realización preferida, los codificadores de tren de accionamiento/rueda 664 comprenden uno o más sensores para codificar la posición de la rueda y un accionador para controlar la posición de una o más ruedas (*por ejemplo*, ruedas de acoplamiento a tierra). El sistema robótico 614 puede incluir, además, un sensor de velocidad terrestre que comprende un medidor de velocidad o sensor basado en radar o un sensor de velocidad rotacional. El sensor de velocidad de rotación puede comprender la combinación de un acelerómetro y un integrador. El sensor de

velocidad de rotación puede proporcionar una velocidad de rotación observada para el procesador de datos 620, o cualquier módulo de este.

5 En algunas realizaciones, los módulos de soporte del sensor 660 pueden proporcionar datos traslacionales, datos de posición, datos de rotación, datos de nivel, datos inerciales y datos de encabezado, que incluyen datos históricos de medidas instantáneas de la velocidad, traslación, posición, rotación, nivel, encabezado y datos inerciales en el tiempo. La velocidad de traslación o rotación puede detectarse con referencia a uno o más puntos de referencia fijos u objetos fijos en el entorno robótico. La velocidad de traslación puede expresarse como una velocidad absoluta en una dirección o como una primera derivada de la posición del robot con respecto al tiempo. La velocidad de rotación puede expresarse como una velocidad en unidades angulares o como la primera derivada de la posición angular en comparación con el tiempo. La velocidad de traslación y rotación puede expresarse con respecto a un origen $0,0$ (por ejemplo, FIG. 1, 110) y soporte de 0 grados con respecto a un sistema de coordenadas absoluto o relativo. Los módulos de procesamiento 640 pueden usar la velocidad de traslación observada (o mediciones de posición en comparación con tiempo) combinada con la velocidad de rotación detectada para estimar la velocidad de rotación observada en el robot.

20 En algunas realizaciones, el sistema robótico 614 puede incluir un receptor GPS, un receptor GPS con corrección diferencial u otro receptor para determinar la ubicación de un robot con respecto a satélite o balizas terrestres que transmiten señales inalámbricas. Preferentemente, en aplicaciones interiores tales como la aplicación del almacén descrita anteriormente o donde la recepción satelital es poco fiable, el sistema robótico 614 usa sensores no GPS como se describió anteriormente y técnicas descritas en la presente descripción para mejorar la localización donde no se proporciona información de posición absoluta fiablemente mediante un sensor o sistema global o local.

25 En otras realizaciones, los módulos que no se muestran en la FIG. 19 pueden comprender un sistema de dirección, un sistema de frenado y un sistema de propulsión. El sistema de frenado puede comprender un sistema de frenado hidráulico, un sistema de frenado electrohidráulico, un sistema de frenado electromecánico, un accionador electromecánico, un sistema de frenado eléctrico, un sistema de frenado por cable, u otro sistema de frenado en comunicación con el control de accionamiento 644. El sistema de propulsión puede comprender un motor eléctrico, un motor de propulsión, un motor de corriente alterna, un motor de inducción, un motor de imán permanente, un motor de corriente continua u otro motor adecuado para propulsar un robot. El sistema de propulsión puede comprender un controlador de motor (por ejemplo, un inversor, cortador, generador de ondas, un controlador multifase, un oscilador de frecuencia variable, suministro de corriente variable o suministro de voltaje variable) para controlar al menos una de la velocidad, torsión y dirección de rotación del vástago del motor del motor eléctrico. Preferentemente, el control de accionamiento 644 y el sistema de propulsión (no mostrado) es un control de accionamiento diferencial (DD) y un sistema de propulsión. En un sistema de control DD, el control robot no es holonómico (NH), caracterizado por restricciones en el trayecto incremental alcanzable dada una velocidad de traslación y angular deseada. El control de accionamiento 644 en comunicación con el sistema de propulsión puede accionar el movimiento incremental del robot al convertir una o más velocidades instantáneas determinadas por el módulo de planificación del trayecto 642 o procesador de datos 620.

Un experto en la técnica reconocería que otros sistemas y técnicas para el procesamiento de robots, almacenamiento de datos, detección, control y propulsión pueden emplearse sin pérdida de aplicabilidad de la presente invención descrita en la presente descripción.

45 Mapas

La navegación por un robot autónomo o semiautónomo requiere alguna forma de modelo espacial del entorno del robot. Los modelos espaciales pueden representarse mediante mapas de bits, mapas de objetos, mapas de puntos de referencia y otras formas de representaciones digitales bi- y tridimensionales. Un modelo espacial de una instalación de almacén, como se muestra en la FIG. 20, por ejemplo, puede representar un almacén y obstáculos tales como paredes, techos, soportes de techo, ventanas y puertas, estantes y depósitos de almacenamiento. Los obstáculos pueden ser fijos o móviles, por ejemplo, tales como otros robots o maquinaria que funcionan dentro del almacén, o relativamente fijos pero cambiantes, tales como particiones temporales, tarimas, estantes y cajones a medida que los artículos de almacén se almacenan, recogen y reponen.

Los modelos espaciales en una instalación de almacén pueden representar, además, ubicaciones objetivo, tales como un anaquel o depósito marcado con una fidelidad al que un robot puede dirigirse para escoger producto o para realizar alguna otra tarea, o a un lugar de mantenimiento temporal o a la ubicación de una estación de carga. Por ejemplo, la FIG. 20 representa la navegación del robot 18 desde una ubicación inicial 702 hasta ubicaciones intermedias 704, 706 hasta la ubicación objetivo o destino 708 a lo largo de su trayecto 712, 714, 716. Aquí el modelo espacial captura características del entorno a través del cual debe navegar el robot, incluyendo características de una estructura en un destino 708 que puede ser un estante o depósito o estación de carga de robot.

65

El modelo espacial usado más comúnmente para la navegación robótica es un mapa de bits de un área o instalación. FIG. 21, por ejemplo, representa una porción de un mapa bidimensional para las áreas mostradas en el modelo espacial de la FIG. 20. El mapa 720 puede representarse mediante mapas de bits que tienen valores de píxel en un rango binario 0,1, que representan negro o blanco, o mediante un rango de valores de píxel, por ejemplo, 0-255 que representa un rango de escala de grises de negro (0) a blanco (255) o mediante rangos de color, cuyos rangos pueden representar incertidumbres en si una característica está presente en la ubicación representada por los valores de píxel. Como se muestra en la FIG. 21, por ejemplo, los píxeles en negro (0) representan obstáculos, los píxeles blancos (255) representan espacio libre, y las áreas de gris sólido (algún valor entre 0 y 255, típicamente, 128) representan áreas desconocidas.

La escala y la granularidad del mapa 720 que se muestra en la FIG. 21 puede ser cualquier escala y dimensiones adecuadas para el intervalo y detalle del entorno. Por ejemplo, en algunas realizaciones de la presente invención, cada píxel en el mapa puede representar 5 centímetros cuadrados (cm²). En otras realizaciones, cada píxel puede representar un rango de 1 cm² a 5 cm². Sin embargo, la resolución espacial de un mapa para usar con la presente invención puede ser mayor o menor sin pérdida de generalidad o beneficio a la aplicación de sus métodos. Como se describe adicionalmente más adelante, en una realización preferida, mientras se acopla el robot a una estación de carga, la resolución del mapa puede representar 1 cm² para proporcionar la navegación de precisión requerida.

Como se ilustra en la FIG. 21, el robot puede usar el mapa 720 para determinar su posición dentro del entorno y para planificar y controlar sus movimientos a lo largo del trayecto 712, 714, 716 y, al mismo tiempo, evitar obstáculos. Tales mapas pueden ser “mapas locales”, que representan características espaciales en el área adyacente inmediata del robot o ubicación objetivo, o “mapas globales”, que representan características de un área o instalación que abarca el rango operativo de uno o más robots. Los mapas pueden proporcionarse a un robot desde un sistema de supervisión externo o un robot puede construir su mapa usando sensores de localización y ubicación de rango integrado. Uno o más robots pueden mapear cooperativamente un entorno compartido, el mapa resultante se mejora aún más a medida que los robots navegan, recopilan y comparten información sobre el entorno.

En algunas realizaciones, el sistema de supervisión puede comprender un servidor central que realiza la supervisión de una pluralidad de robots en un almacén de fabricación u otra instalación, o el sistema de supervisión puede comprender un sistema de supervisión distribuido que consiste en uno o más servidores que operan dentro o sin la instalación completa o parcialmente sin pérdida de generalidad en la aplicación de los métodos y sistemas descritos en la presente descripción. El sistema de supervisión puede incluir un servidor o servidores que tienen al menos un procesador informático y una memoria para ejecutar un sistema de supervisión y puede incluir, además, uno o más transceptores para comunicar información a uno o más robots que operan en el almacén u otra instalación. Los sistemas de supervisión pueden alojarse en servidores informáticos o pueden alojarse en la nube y comunicarse con los robots locales a través de un transceptor local configurado para recibir y transmitir mensajes hacia y desde los robots y el sistema de supervisión a través de medios de comunicación cableados y/o inalámbricos, incluso a través de Internet.

Un experto en la materia reconocería que el mapeo robótico para los propósitos de la presente invención podría realizarse mediante el uso de métodos conocidos en la materia sin pérdida de generalidad. Una descripción adicional de los métodos para el mapeo robótico puede encontrarse en Sebastian Thrun, “Robotic Mapping: A Survey”, Carnegie-Mellon University, CMU-CS-02-111, febrero de 2002.

Exploraciones

Un robot equipado con sensores, como se describió anteriormente, puede usar sus sensores para la localización, así como contribuir a la construcción y al mantenimiento del mapa de su entorno. Los sensores usados para la construcción y localización de mapas pueden incluir sensores de detección y rango de luz (“LIDAR” o “exploración láser” o “radar láser”). Los escáneres láser radar miden el rango y la distancia a los objetos en un plano horizontal con una serie de barridos angulares discretos del entorno local del robot. Un sensor de búsqueda de rango adquiere un conjunto de mediciones, una “exploración” tomada en incrementos angulares distintos de, preferentemente, incrementos de un cuarto (0,25) grados sobre un arco de 180 grados o un arco de mayor o menor grado, o un arco completo de 360 grados sobre el robot. Una exploración con radar láser, por ejemplo, puede ser un conjunto de mediciones que representan el tiempo de retorno y la resistencia de una señal láser, indicando cada medición en un incremento angular discreto un obstáculo potencial a una distancia de la posición actual del robot.

Con fines ilustrativos, como se muestra en las FIGS. 22A y 22B, una exploración con láser tomada en la ubicación 704 puede representarse gráficamente como un mapa de bits bidimensional 730. La exploración 730, como se muestra, representa un arco horizontal de aproximadamente 180 grados orientado en la dirección de desplazamiento del robot en la posición intermedia 704. Las mediciones individuales de radar láser 731, ilustradas por líneas discontinuas direccionales, detectan obstáculos en el entorno del robot 700', por ejemplo, en las estructuras 722, 724, 726 y 728. Estos están representados por píxeles en 732, 734, 736 y 738 en la exploración 730. En algunas realizaciones, las exploraciones de paredes rectas 724 pueden “llenarse” en la exploración 730, en

donde una estructura geográfica conectada 734 puede conocerse a partir de otros datos o discernirse por la alineación de píxeles en la nube de puntos.

Otras formas de sensores de búsqueda de rango incluyen sensores sonar, radar y táctiles sin apartarse del alcance de la invención. Ejemplos de sensores de hallazgo y orientación de intervalos disponibles comercialmente adecuados para usarse con la presente invención incluyen, pero no se limitan a, Hokuyo UST-10LX, el SICK LMS 100 y el VelodyneVLP-16. Un robot puede tener uno o más sensores de rango o ubicación de un tipo particular o puede tener sensores de diferentes tipos, produciendo la combinación de tipos de sensores mediciones que mapean colectivamente su entorno. Un análisis adicional de los métodos de mapeo robótico por LIDAR y otros escáneres puede encontrarse en Edwin B. Olson, "Robust and Efficient Robotic Mapping", PhD Dissertation, Carnegie-Mellon University, 2008, que se incorpora en la presente descripción por referencia.

Coincidencia de exploración

"Coincidencia de exploración" es el proceso de comparar exploraciones de búsqueda de rango mediante diferentes robots o exploraciones de un solo robot tomadas en momentos diferentes o a un mapa de un entorno, tal como un mapa SLAM. En el proceso de coincidencia de exploración a exploración, una primera exploración con radar láser tomada por un robot en un momento puede compararse con una segunda exploración anterior para determinar si el robot ha regresado a la misma ubicación en el mapa. De la misma manera, hacer coincidir la exploración con la exploración de un segundo robot puede determinar si los dos robots han navegado a una ubicación común en el mapa. La coincidencia de exploración con un mapa puede usarse para determinar la posición del robot en el entorno mapeado. Como se ilustra en la FIG. 23A, la exploración 730' se representa como trasladado y rotado con relación a la porción de mapa 720'. Para un robot en una posición desconocida (x, y, θ) , hacer coincidir la exploración con radar láser del robot con el mapa 720' encuentra la transformación T del cuerpo rígido con la traslación $\Delta x, \Delta y$ y la rotación $\Delta \theta$ que provoca que la exploración 730' se correlacione más fuertemente con el mapa 720'. Por lo tanto, la posición correcta del robot $(x+\Delta x, y+\Delta y, \theta+\Delta \theta)$ con relación a una porción del mapa 720 como se ilustra en la FIG. 23B puede determinarse.

Es improbable que una exploración con radar láser coincida exactamente con el mapa en cualquier ubicación y orientación arbitrarias. Las incertidumbres en las mediciones de sensores, las demandas de precisión de la posición y tiempos de ciclo computacional limitados requieren algoritmos robustos y eficientes para determinar estadísticamente la mejor coincidencia de exploración entre el entorno detectado por un robot y su posición real. Sin embargo, los métodos estadísticos son susceptibles a producir posiciones inexactas y pueden ser costosos desde el punto de vista computacional. Se han desarrollado varios métodos y algoritmos para abordar estas complejidades. Un estudio de las técnicas de coincidencia de exploración y un método de dos resoluciones para asegurar la precisión mientras se reduce la complejidad computacional en la coincidencia de exploración para localización puede encontrarse en Edwin B. Olson, "Real-Time Correlative Scan Matching", en Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'09), IEEE Press, Piscataway, NJ, EE. UU., 2009, págs. 1233-1239.

M3RSM

Como se mencionó anteriormente, otra de tales técnicas para localizar mediante el uso de coincidencia de exploración es la coincidencia de exploración con muchas múltiples resoluciones o "M3RSM". M3RSM extiende el enfoque de coincidencia de exploración correlativa de dos resoluciones a múltiples resoluciones, usando una pirámide de mapas, cada uno construido por decisión para la eficiencia computacional. Una discusión de M3RSM se puede encontrar en Edwin Olson, "M3RSM: Many-to-many multi-resolution scan matching", Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), junio de 2015, que se incorpora en la presente descripción por referencia. M3RSM reduce drásticamente el tiempo de procesamiento para realizar la coincidencia de exploración con un mapa SLAM al eliminar las posiciones candidatas de la consideración en resoluciones más bajas del mapa. La localización y la navegación robótica a lo largo de un trayecto objetivo a una posición objetivo se mejora aún más al minimizar el espacio de búsqueda M3SRM según los métodos descritos en la solicitud relacionada de EE. UU. con núm. de serie 15/712.222, titulada CONCIDENCIA DE EXPLORACIÓN DE MÚLTIPLES RESOLUCIONES CON ZONAS DE EXCLUSIÓN, presentada el 22 de septiembre de 2017.

Navegación a una estación de carga

Como se muestra y describe con referencia a las FIGS. 17 y 18 anteriores, el robot 18 puede navegar a una estación de carga de robot para acoplarse eléctricamente con la estación de carga e iniciar la carga del robot. A modo de ilustración, la FIG. 20 representa el robot 18 que se mueve a lo largo del trayecto 712,714.716, procediendo desde una ubicación actual 702 a través de ubicaciones 704, 706 hasta una ubicación objetivo 708. La ubicación objetivo 708 puede ser la ubicación del robot que ha llegado a una posición delante de una estación de carga (no se muestra), que puede ubicarse en aproximadamente la ubicación 718. Al llegar a la ubicación 708, el robot puede comenzar una navegación de acoplamiento más precisa a su posición para hacer que el puerto de carga eléctrica 300 se acople con la unidad 200 de carga eléctrica. Después, el robot 18 se acopla a la estación 500 de carga y está listo para la recarga.

5 Durante la navegación del robot a la estación de carga, el robot puede navegar a la ubicación 708 como lo haría cualquier otra posición objetivo asociada con un depósito de producto objetivo o fiduciario como se describió anteriormente. FIG. 24 ilustra uno de tales procesos para mover el robot a lo largo de un trayecto objetivo desde una
 10 ubicación actual hasta una posición objetivo, que puede ser la posición de la estación de carga. Comenzando en la etapa 802, el sistema robótico 614 recibe un mapa SLAM a través del módulo transceptor 670 que representa el mapa del entorno robótico. Alternativamente, el mapa puede recuperarse posteriormente del almacenamiento de datos 630, mediante el procesador de datos 620 o mediante el módulo de procesamiento de mapa 646. Como se
 15 ilustra en la FIG. 21, el mapa 720 puede representar una porción de un almacén que contiene espacio libre y obstáculos. Los valores de píxeles del mapa 720 en un rango binario de 0,1 representan obstáculos (0 o negro) y espacio libre (1 o blanco). Alternativamente, el mapa 720 puede representar obstáculos dentro del almacén mediante el uso de valores de píxeles en un rango de 0-255, con valores de cero (0) que representan obstáculos y 255 que indican espacio libre. Los píxeles grises, de haberlos, que tienen, típicamente, un valor 128 representan áreas desconocidas o no mapeadas o inaccesibles. Después de recibir el mapa, en la etapa 804, el módulo de procesamiento de mapa 646 puede construir pirámides de mapa según M3RSM o, preferentemente, según las técnicas M3RSM mejoradas como se mencionó e incorporó anteriormente. La construcción de pirámides de mapa para usar con M3RSM se describe adicionalmente en la solicitud de patente de los EE. UU. núm. de serie 15/712.222 mencionada anteriormente.

20 Continuando con el proceso de navegación 800, en la etapa 806, el robot, mediante el uso del sistema robótico 614, recibe una posición objetivo, por ejemplo, la posición 600 de una estación 500 de carga en la ubicación 718. En la etapa 808, el sistema robótico 614 genera después, usando el módulo de planificación de trayecto 646, el trayecto objetivo desde su posición inicial hasta la posición asociada con la estación de carga. Después, el trayecto objetivo puede almacenarse para un procesamiento posterior. En algunas realizaciones, el trayecto objetivo puede generarse en base a una estimación de
 25 posición para el robot o, preferentemente, generar el trayecto objetivo se basa en la posición del robot determinada después de la primera iteración de la etapa de "Buscar Posición" 812. El módulo de planificación de trayecto 642 puede generar el trayecto objetivo desde la posición actual hasta la posición objetivo por una variedad de técnicas conocidas por los profesionales en la técnica que incluyen los algoritmos de exploración de trayecto A* y D*. Alternativamente, el robot puede recibir un trayecto objetivo a través del módulo transceptor 670 o puede recuperar un trayecto objetivo desde el almacenamiento de datos 630. Después de recibir el mapa y generar las pirámides del mapa y el trayecto objetivo, el sistema robótico 614 puede proceder a mover el robot incrementalmente a lo largo del trayecto objetivo.

35 En la etapa 810, el robot recibe una exploración con radar láser del entorno local y procede a encontrar la posición que mejor coincide con la exploración recibida. Como se ilustró anteriormente con referencia a la FIG. 22A, la exploración local puede consistir en una "nube de puntos" de radar láser que representa puntos en el campo de visión del robot en los que se detectan obstáculos por el radar láser. La nube de puntos puede representar puntos de la exploración con radar láser en una posición y orientación con relación al robot, cada punto en la nube de puntos se toma en un incremento angular discreto e indica un obstáculo potencial a una distancia desde la posición actual del robot.

40 En la etapa 812, "Buscar Posición", se encuentra la posición actual del robot. En primer lugar, se determina un área de búsqueda como la porción del mapa recibido que se buscará en las posiciones candidatas. En una primera iteración, el área de búsqueda puede incluir todo el mapa. En una iteración posterior, el robot puede estimar su posición dentro de solo una porción del mapa. La posición para determinar el área de búsqueda puede estimarse a partir de una última posición conocida combinada con datos del sensor, tales como codificadores de tren de accionamiento/rueda y/o información de control de accionamiento. Un experto en la técnica comprendería que las estimaciones de la posición y la determinación del área de búsqueda podrían realizarse mediante diversos métodos y parámetros. En una realización preferida, el módulo de estimación de estado 650 puede fusionar datos con datos del codificador de rueda y datos del sensor inercial para determinar la posición actual del robot, la velocidad y los errores estimados para cada uno. Por lo tanto, el supuesto estimado limita la búsqueda a una porción del mapa, lo que reduce el espacio de búsqueda y disminuye el tiempo de procesamiento para la coincidencia de exploración. Cuanto menor sea la incertidumbre en la estimación de la posición, menor será el área de búsqueda sobre la que puede requerirse la coincidencia de exploración. Cuanto mayor sea la incertidumbre, mayor será el área de búsqueda sobre la cual puede requerirse la coincidencia de exploración. A continuación, la posición dentro del área de búsqueda se determina por coincidencia de exploración según técnicas de coincidencia de exploración tales como M3RSM como se mencionó anteriormente. En la etapa
 55 opcional 814, el proceso puede retornar a la etapa 808 para generar o actualizar el trayecto objetivo basado en un primer resultado de encontrar la posición o posterior.

60 Habiendo encontrado la posición actual del robot, se continúa con la etapa 816 de la FIG. 24, el robot calcula una próxima velocidad instantánea para mover el robot a lo largo del trayecto objetivo. Preferentemente, la velocidad instantánea a lo largo del trayecto objetivo en presencia de otros robots y obstáculos se logra mediante métodos que incluyen, pero no se limitan a, el enfoque dinámico de ventana (DWA) y la prevención de colisiones recíprocas óptimas (ORCA). En una realización preferida, el DWA calcula entre los trayectos de movimiento del robot posibles un movimiento incremental que evita colisiones con obstáculos y favorece el trayecto objetivo deseado hacia la ubicación objetivo. Al determinar una próxima velocidad (etapa 816) y el movimiento del robot (etapa 818), el sistema robótico 614 se repite si aún no se alcanza el objetivo (etapa 820), obteniendo una nueva

exploración local (etapa 810), encontrando la posición (etapa 812) y la próxima velocidad (etapa 816) hasta que se alcance el objetivo (etapa 820). Por lo tanto, la navegación procede como una serie de movimientos incrementales a lo largo de trayectos incrementales determinados por la velocidad instantánea en cada ciclo de procesamiento.

5 Cuando el trayecto objetivo incluye en una posición objetivo que es la posición asignada a una estación de carga, el proceso puede continuar con el acoplamiento de precisión de la siguiente manera.

Acoplamiento de precisión con localización de alta resolución

10 FIG. 25 ilustra el robot 18 después de navegar hacia la posición 600 asignada a la estación de acoplamiento del cargador, su estructura se muestra y describe más completamente. Como alternativa al acoplamiento fiduciario basado en cámaras, como se describió anteriormente con respecto a las FIGS. 17 y 18, la navegación del robot 18 desde la posición 600 hasta la posición de unión 602 puede usar técnicas de coincidencia de exploración
15 según los métodos de navegación descritos anteriormente para navegar desde una posición actual, en una ubicación en un almacén, por ejemplo, hasta la posición inicial 600 asociada con una estación de carga.

El acoplamiento de la unidad de carga eléctrica y el puerto de carga eléctrica, según las dimensiones descritas anteriormente de una realización de la unidad de carga eléctrica y del puerto de carga eléctrica, puede requerir
20 mapas de mayor resolución que los mapas usados para la navegación del almacén. Es decir, el método de navegación usado por el robot para llegar a la posición 600, que puede usar mapas de resolución de 5 cm, por ejemplo, puede no posicionar con precisión el robot en la posición de unión 602, de manera que la unidad 200 de carga eléctrica de la estación 500 de carga y el puerto de carga eléctrica 300 del robot 18 se acoplan de manera fiable. El uso de la resolución de 5 cm para la coincidencia de localización y exploración también puede requerir
25 que la estación de carga se mapee perfectamente y se fije firmemente al piso del almacén.

Por lo tanto, en una realización del acoplamiento de precisión, al llegar a la posición 600 de la estación 500 de carga, el robot 18 puede cambiar a usar un mapa SLAM de resolución más alta del entorno, preferentemente, un
30 mapa SLAM de resolución de 1 cm y localizarse mediante técnicas de coincidencia de exploración como se describió anteriormente. La localización mediante el uso de un mapa de resolución más alta, tal como un mapa de resolución de 1 cm, puede proceder como se describe con referencia al proceso 830 de la FIG. 26. El proceso 830 procede al recibir un mapa (en la etapa 832) del ambiente del almacén a una resolución más alta que el mapa del ambiente usado para navegar desde una ubicación en el almacén hasta la posición inicial 600. El sistema robótico 614 que
35 usa el módulo de procesamiento de mapa 646 puede construir después pirámides de mapa (etapa 834) según M3RSM o, preferentemente, según las técnicas M3RSM mejoradas como se mencionó e incorporó anteriormente.

En la etapa 836, FIG. 26, la posición recibida es la posición de unión 602 de la estación de carga. Generar el trayecto objetivo en la etapa 838 genera un trayecto objetivo desde la posición actual del robot, la posición inicial 600, hasta la
40 posición objetivo, la posición de unión 602. Las etapas 840, 842, 846, 848 y 850, FIG. 26, puede proceder entonces como se describió anteriormente con referencia a las FIGS. 24 y 25. Es decir, el robot 18 al llegar a la posición 600 se mueve hacia adelante desde la posición 600 hasta la posición 602 al cambiar a usar un mapa de resolución de 1 cm del almacén y continuar con la navegación mediante el uso del mapa y el trayecto objetivo recibidos, lo que proporciona, de esta manera, la localización más precisa requerida para accionar el robot para que una su unidad de carga eléctrica y el
45 puerto de carga eléctrica de la estación de carga. En una realización alternativa, al considerar que la posición inicial del robot no necesita estar orientada directamente y el centro de la estación de carga, el robot 18 puede, en cambio, desplazarse a una posición inicial 604 cerca de la estación de carga. Como se ilustra en la FIG. 27, por ejemplo, el robot 18 puede navegar primero desde una ubicación del almacén hasta la posición inicial 604 cerca de la estación 500 de carga y, después, mediante el uso de la navegación de precisión con un mapa de resolución más alta, preferentemente, un mapa de resolución de 1 cm, navegar como se describió anteriormente a la posición de unión 602
50 a lo largo del trayecto 742.

Mientras proporciona localización de precisión al acoplarse a la estación de carga, usar un mapa de resolución más alta añade complejidad computacional y procesador de datos del sistema robótico y demandas de recursos de memoria de
55 datos. Por ejemplo, las demandas de procesamiento para localizarse mediante coincidencia de exploración en un mapa de resolución de 1 cm demanda tanto como 25 veces el cálculo de usar un mapa de resolución de 5 cm. Por lo tanto, hacer uso de un mapa de resolución más alta para la localización mediante coincidencia de exploración durante el acoplamiento desperdicia tiempo de procesamiento que podría usarse para otras tareas de procesamiento críticas. Además, en el área de la estación de carga, el mapa de todo el almacén no es necesario una vez que el robot esté próximo a la estación de carga. Aún más, la navegación por exploración que coincide con todo el mapa de depósito, suponiendo que incluye un
60 mapa de la estación de acoplamiento del cargador, no toleraría el movimiento de la estación de carga durante el acoplamiento.

En consecuencia, la FIG. 28 ilustra otra realización de acoplamiento de precisión mediante el uso de un mapa de resolución más alta para la localización, en donde el mapa de exploración recibido contiene solo la estación de carga
65 y se realiza la coincidencia de exploración de una exploración local en el mapa de resolución más alta. El mapa de la estación de carga puede incluir un mapa a una resolución de 1 cm, donde los píxeles del mapa representan las

superficies verticales de una estación de carga. Alternativamente, el mapa de la estación de carga puede construirse a partir de la estructura y dimensiones conocidas de una estación de carga. Cualquier mapa puede usarse para representar la estación de carga como la estación de carga sería escaneada por un escáner de radar láser de robot.

5 Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 28, y con referencia a la FIG. 17, el mapa de la estación de carga 740 (mostrado en negro) puede representarse mediante una exploración de las superficies del panel lateral 538 y 540 y la superficie del panel central 536 de una estación de carga. Por lo tanto, el mapa usado para la exploración que coincide con la estación de acoplamiento del cargador puede ser un mapa de resolución más alta 740 de la porción posterior de la estación de acoplamiento escaneada al nivel del radar láser 22 (ver la FIG. 2A).
10 Similarmente, la exploración local para la exploración que coincide con el mapa de estación de carga puede ser una exploración con radar láser 742 (mostrada en rojo) de los paneles laterales angulares y superficies centrales en la parte posterior de la estación 500 de carga explorada en el nivel del radar láser 22.

15 Se observa que la estación de carga, en otras realizaciones, puede estar en otras dimensiones y configuraciones, es decir, las superficies laterales en la parte posterior de la estación de acoplamiento pueden no estar en ángulo con relación a la superficie central. De hecho, los métodos descritos en la presente descripción para acoplar un robot a una estación de carga pueden aplicarse a otras dimensiones y configuraciones de una estación de acoplamiento del cargador sin pérdida de generalidad. Con esas otras dimensiones y configuraciones, el mapa de la estación de carga usada para la coincidencia de exploración solo necesita proporcionar un mapa de exploración que incluye o consiste únicamente en una
20 exploración o representación de exploración de una estación de acoplamiento de carga que coincide con una exploración de búsqueda de rango del robot. Estos robots pueden usar otros métodos de exploración de rango consistente con la producción de una exploración local para la coincidencia de exploración con el mapa de la estación de carga.

25 En vista del proceso de navegación 830 descrito anteriormente con referencia a la FIG. 26, después de llegar a una posición inicial 604, el robot puede cambiar para navegar mediante el uso de un mapa de la estación de carga. El mapa recibido en la etapa 832 en esta realización puede ser un mapa de resolución más alta que incluye solamente la estación de acoplamiento del cargador. La localización del robot contra un mapa de la estación de carga, mediante el uso de la coincidencia de exploración según las técnicas anteriores, puede proceder, preferentemente, mediante el uso de M3RSM, por lo tanto, las pirámides del mapa en la etapa 834, FIG. 26, puede construirse como se mencionó anteriormente. En la
30 etapa 836, la posición recibida es la posición de unión de la estación de carga. Generar el trayecto objetivo en la etapa 838 genera un trayecto objetivo desde la posición actual del robot, la posición inicial 600, hasta la posición objetivo, la posición de unión 602. Continuando con el proceso 830, FIG. 26, la exploración local recibida en la etapa 840 para la exploración que coincide con el mapa de estación de carga o "localizar en la base de acoplamiento" es, en un aspecto, la exploración con radar láser 742 de la estación de carga. Como tal, la exploración con radar láser 742 de la estación de carga en la FIG.
35 27 se usa para encontrar la posición (etapa 842) del robot mediante la coincidencia de exploración con el mapa de estación de carga 740 en cada iteración del proceso 830. El movimiento incremental del robot desde la posición inicial 604 hasta la posición de unión 602 procede con la siguiente velocidad incremental (etapa 846) y hace que el robot 18 se mueva incrementalmente (etapa 848) a lo largo del trayecto 752. El proceso se repite (etapa 820) a medida que el robot 18 se mueve incrementalmente a lo largo del trayecto 752 desde la posición inicial 604 hasta la posición de unión 602,
40 acoplando de esta manera la unidad 200 de carga eléctrica con el puerto de carga eléctrica 300, como se muestra en la FIG. 17.

45 En una realización, la evitación del obstáculo durante el acoplamiento, cuando se desplaza desde la posición inicial hasta la posición de acoplamiento, puede simplificarse al determinar a partir de cada exploración local, en cada iteración, si existe un obstáculo dentro de una distancia umbral d , donde d es menor que la distancia que el robot puede llegar a la estación de acoplamiento del cargador cuando se acopla completamente. Por lo tanto, un obstáculo que aparece en la exploración local dentro de la distancia d no es la propia estación de acoplamiento. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 26, puede medirse una distancia umbral d_1 desde la posición de acoplamiento a la cara delantera de la estación de acoplamiento del cargador. Alternativamente, la distancia umbral d_2 puede ser
50 menor que la distancia a las superficies verticales exploradas en el nivel del radar láser del robot. En este aspecto, al detectar un obstáculo dentro de la distancia umbral, el robot 18 puede detenerse y esperar a eliminar el obstáculo o el robot puede recibir una nueva posición de navegación continua a otra estación de carga o ubicación objetivo.

55 Mediante la localización contra la estación de carga solamente, el robot puede realizar el acoplamiento de precisión a máxima eficiencia durante la duración corta del enfoque final a la estación de acoplamiento del cargador. La localización contra la estación de carga solo puede usarse junto con mapas de resolución más alta mientras se acopla, y puede usarse con otras técnicas de control del robot, tales como "control de arco", que se describirá adicionalmente más abajo, sin pérdida de generalidad en cuanto a los aspectos inventivos de "localización en la base de acoplamiento".

60 Acoplamiento de precisión con control de arco

65 El acoplamiento de precisión según las realizaciones descritas anteriormente con referencia a las FIGS. 26 y 27 no siempre puede mover el robot a lo largo de un trayecto conductor para acoplar de manera fiable la unidad de carga eléctrica con el puerto de carga eléctrica. Por ejemplo, el robot 18 puede navegar desde la posición 604 hasta la posición 602 mediante el uso de mapas de mayor resolución y correlación de exploración con el mapa de estación de

carga solamente. Sin embargo, después del enfoque para acoplar la posición 602, el robot 18 puede no orientarse directamente hacia la estación de carga, lo que podría resultar en un acoplamiento poco fiable. Por lo tanto, el acoplamiento del robot a la estación de carga puede mejorarse al navegar sustancialmente a lo largo de un arco controlado desde la posición inicial a la posición de acoplamiento de la estación de carga. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 29, el desplazamiento a lo largo del trayecto 762 desde la posición 604 hasta la posición 602 asegura que la orientación del robot sea perpendicular a la estación 500 de carga en su enfoque final hasta la posición de unión 602.

FIG. 30 ilustra un método preferido de control de acoplamiento de precisión al navegar prácticamente a lo largo de un arco desde una posición inicial hasta una posición de acoplamiento, orientando así el robot perpendicular a la estación de carga. Como se muestra en la FIG. 30, la posición inicial 604 se identifica por las coordenadas de posición X_R, Y_R, θ_R , donde X_R, Y_R es la ubicación actual o inicial del robot al navegar en proximidad a la estación de carga, y θ_R es la orientación angular de la posición inicial. La posición 602 de unión se identifica por las coordenadas de posición X_D, Y_D, θ_D , donde X_D, Y_D es una ubicación alineada con la unidad de carga eléctrica o "encaje" de la estación de carga, y la orientación angular θ_D de la posición de unión es perpendicular a la estación de carga. Observar que un arco descrito por el trayecto 762 rastrea una sección de un círculo 764 con radio R y centro X_C, Y_C que comienza en X_R, Y_R y que termina en X_D, Y_D , la primera etapa en el trayecto de búsqueda 762 es encontrar el centro X_C, Y_C del círculo 764 que pasa a través de X_R, Y_R y X_D, Y_D .

Desafortunadamente, existe un número infinito de círculos con radio r que tienen una sección de arco que pasa a través de X_R, Y_R y X_D, Y_D . Al introducir la restricción de que la tangente al círculo en la posición X_D, Y_D debe tener una pendiente de $\tan(\theta_D)$, es decir, la orientación final del robot es perpendicular a la estación de carga, y al usar, además, la restricción de que el centro X_C, Y_C del círculo 764 estarán la misma distancia de X_R, Y_R y X_D, Y_D , el radio r puede encontrarse de la siguiente manera:

$$\sqrt{(x_D - x_C)^2 + (y_D - y_C)^2} = r \quad (1)$$

$$\sqrt{(x_R - x_C)^2 + (y_R - y_C)^2} = r \quad (2)$$

$$y_C - y_D = -\frac{1}{\tan(\theta_D)}(x_C - x_D) \quad (3)$$

Una tercera restricción establece que la ecuación de la línea que pasa a través de X_D, Y_D y X_C, Y_C tiene una pendiente que es perpendicular a la pendiente de la línea tangente de $\tan(\theta_D)$. Se define la variable p de la siguiente manera:

$$p = -\frac{1}{\tan(\theta_D)} \quad (4)$$

y se resuelven X_C e Y_C :

$$x_C = \frac{\frac{(x_R^2 - x_D^2)}{2} + \frac{(y_R^2 - y_D^2)}{2} + p x_D y_R - p x_D y_D - y_D y_R}{(x_R - x_D) + p(y_R - y_D)} \quad (5)$$

$$y_C = p(x_C - x_D) + y_D \quad (6)$$

permite resolver el radio r mediante sustitución simple en las ecuaciones (1) o (2) anteriores.

Como se describió anteriormente, el radio r del círculo único que tiene el centro X_C, Y_C que pasan a través de X_R, Y_R y X_D, Y_D define el trayecto de arco deseada 762 desde la posición 604 hasta la posición de unión 602. Por lo tanto, el control para un movimiento incremental del robot a lo largo del trayecto 762 puede determinarse a partir de la línea tangente del círculo 764 en cada iteración. Es decir, el control del robot en cada iteración puede encontrarse al avanzar el robot en la dirección de la línea tangente en una ubicación instantánea x'_R, y'_R , a una velocidad angular θ'_T , donde θ'_T es la tangente al círculo 764 en x'_R, y'_R .

En la práctica, puede producirse cierta variación en la trayectoria real a medida que el robot se mueve incrementalmente desde la posición 604 hasta la posición 602 a lo largo del trayecto de control 762. Sin embargo, la velocidad instantánea del robot en cada posición incremental a lo largo del trayecto 762 debe resultar en una trayectoria instantánea dentro de un pequeño error desde el trayecto de control. Por ejemplo, la FIG. 31 muestra el robot 18 que avanza a lo largo del trayecto 772 (para aclarar que se muestra como una variación exagerada desde

el trayecto de arco 762) para poner x'_R, y'_R, θ'_R , lo que puede resultar en un pequeño error angular $R2a$ entre la línea tangente 766 del círculo 764, en la ubicación x'_R, y'_R , y la trayectoria 768 extendida en la dirección de orientación θ'_R . En cada iteración y movimiento incremental, el radio r no debe cambiar. Ese radio r no cambia después de que cada movimiento incremental implica que el robot 18 permanece sustancialmente en el trayecto del arco 762, lo que asegura que el robot esté en la orientación deseada a la estación de carga después del enfoque para la colocación de acoplamiento 602.

Para asegurar que el radio r no cambie y observar que:

$$\theta'_R = \frac{x'_R}{r} \quad (7)$$

donde x'_r es la velocidad lineal instantánea del robot y θ'_r es su velocidad angular instantánea, para un radio r dado, la velocidad lineal instantánea x'_r se puede mantener fija ajustando la velocidad angular instantánea θ'_r , o la velocidad angular θ'_r se puede mantener fija ajustando la velocidad lineal x'_R . Por lo tanto, al emitir un control al robot según:

$$\theta'_R = k\phi \quad (8)$$

en donde k es una constante de control proporcional y que combina los controles rotativos de las ecuaciones (7) y (8) anteriores:

$$\theta'_R = \alpha(k\phi) + \beta \left(\frac{x'_R}{r} \right) \quad (9)$$

donde α y β son parámetros de ponderación, la ecuación de control combinada (9) cierra el error entre el trayecto real 772 del robot y el trayecto de arco deseado 762. En una realización preferida, los parámetros de ponderación α y β pueden ser uno (1).

A medida que el robot 18 se acerca a la estación de carga, el control proporcional de la ecuación (8) puede considerarse más fuertemente en la ecuación (9). En otra realización, los parámetros de ponderación α y β pueden ajustarse en una relación no lineal como una función de la distancia a la estación de carga. Alternativamente, el esquema de control puede aplicarse cerrando primero el error rotacional según la ecuación (8) hasta que el error llegue por debajo de un umbral, después ajustando x'_R a un valor fijo, y después controlando el robot según la ecuación (7), actualizando constantemente r y ϕ , y después cambiando el esquema de control nuevamente a la ecuación (8) cuando se excede nuevamente el umbral. De esta manera, se minimiza el error ϕ en la trayectoria del robot a lo largo del trayecto del arco 762 y en la posición final 602.

Si bien la descripción anterior de la invención permite a un experto en la materia elaborar y usar lo que se considera actualmente el mejor modo de la misma, los expertos en la materia entenderán y apreciarán la existencia de variaciones, combinaciones y equivalentes de las realizaciones y ejemplos específicos de la presente descripción. Las realizaciones descritas anteriormente de la presente invención pretenden ser solamente ejemplos. Aquellos con experiencia en la materia pueden efectuar alteraciones, modificaciones y variaciones a las realizaciones particulares sin apartarse del alcance de la invención, que se define únicamente por las reivindicaciones anexas a la presente descripción.

Debe entenderse que la presente invención puede implementarse con software y/o hardware. En consecuencia, los aspectos de la presente invención pueden adoptar la forma de una realización totalmente de hardware, una realización totalmente de software (que incluye firmware, software residente, microcódigo, etc.) o una realización que combina aspectos de software y hardware que generalmente pueden denominarse en la presente descripción "circuito", "módulo" o "sistema". Como apreciará una persona con experiencia en la materia, los aspectos de la invención pueden incorporarse como un sistema, método o producto de programa informático.

Aspectos de la presente invención se describen con referencia a diagramas de flujo, ilustraciones y/o diagramas de bloques de métodos y aparatos (sistemas). Los diagramas de flujo y diagramas de bloques pueden ilustrar arquitectura, funcionalidad u operaciones del sistema según diversas realizaciones de la invención. Cada etapa del diagrama de flujo puede representar un módulo, que comprende una o más instrucciones ejecutables para implementar la(s) función(es) especificada(s). En algunas implementaciones, las etapas mostradas en sucesión pueden, de hecho, ejecutarse sustancialmente de manera simultánea. Las etapas pueden realizarse mediante sistemas basados en hardware de propósito especial que realizan las funciones o actos especificados, o combinaciones de hardware de propósito especial e instrucciones informáticas.

Las instrucciones informáticas para la ejecución por un procesador que realiza operaciones de la presente invención pueden escribirse en uno o más lenguajes de programación, que incluyen lenguajes de programación orientados a objetos tales como C#, C++, Python, o lenguajes de programación Java. Las instrucciones de programa informático pueden almacenarse en un medio legible por ordenador que puede dirigir el sistema robótico a través del procesador de datos para funcionar de una manera particular, que incluye ejecutar instrucciones que implementan las etapas especificadas en un diagrama de flujo y/o diagrama en bloque del sistema descritos en la presente descripción. Un medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser cualquier medio tangible que pueda contener, o almacenar instrucciones para su uso por o en conexión con el procesador de datos. Un medio legible por ordenador puede incluir, además, una señal de datos propagados con código de programa legible por ordenador incorporado en el mismo.

REIVINDICACIONES

1. Un método para navegar un robot (18) para acoplarse con una estación de acoplamiento de un cargador (500) de robot, que comprende:
 - 5 recibir una posición inicial (604) asociada con una estación de acoplamiento del cargador (500) del robot;
 - recibir una posición (602) de unión asociada con la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot; estando el método **caracterizado por** las siguientes etapas:
 - 10 realizar una primera navegación de un robot (18) desde una ubicación hasta la posición inicial (604) mediante el uso de coincidencia de exploración en un primer mapa SLAM;
 - realizar una segunda navegación (742) del robot (18) desde la posición inicial (604) hasta la posición (602) de unión mediante el uso de la coincidencia de exploración con un segundo mapa SLAM que tiene una resolución mayor que una resolución del primer mapa SLAM;
 - 15 haciendo, de esta manera, que el puerto (26) de carga eléctrica del robot (18) se una con una unidad (200) de carga eléctrica de la estación de acoplamiento del cargador (500) de robot al llegar a la posición (602) de acoplamiento.
2. El método de la reivindicación 1, en donde la resolución del primer mapa SLAM es una resolución de 5 cm y la resolución del segundo mapa SLAM es una resolución de 1 cm.
3. El método de la reivindicación 1, en donde el segundo mapa SLAM usado para escanear la coincidencia de exploración durante la segunda navegación (742) incluye un mapa de la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot.
4. El método de la reivindicación 1, en donde el segundo mapa SLAM usado para coincidencia de exploración durante la segunda navegación (742) consiste en un mapa de la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot .
5. El método de la reivindicación 3, en donde la coincidencia de exploración durante la segunda navegación (742) localiza el robot (18) mediante el uso de una exploración local de la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot contra el mapa de la estación de acoplamiento del cargador (500).
6. El método de la reivindicación 5, en donde la exploración local es una exploración con radar láser de la estación de acoplamiento del cargador (500) en la resolución del segundo mapa SLAM.
7. Un robot móvil (18) configurado para navegar desde una ubicación hasta y acoplarse con una estación de acoplamiento del cargador (500) del robot para recarga, comprendiendo el robot:
 - 40 una base móvil con ruedas que tiene un puerto (26) de carga eléctrica y un procesador (620), en donde el procesador está configurado para:
 - 45 obtener una posición inicial (604) asociada con la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot;
 - obtener una posición (602) de unión asociada con la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot; estando el robot móvil (18) **caracterizado por que** está configurado, además, para:
 - 50 navegar la base móvil con ruedas desde la ubicación hasta la posición inicial (604) con coincidencia de exploración con un primer mapa;
 - navegar la base con ruedas desde la posición inicial (604) hasta la posición (602) de acoplamiento mediante el uso de coincidencia de exploración con un segundo mapa SLAM que tiene una resolución mayor que una resolución del primer mapa SLAM, lo que provoca, de esta manera, que el puerto (26) de carga eléctrica de la base con ruedas se una con una unidad de carga eléctrica (200) de la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot al llegar a la posición (602) de unión.
8. El robot móvil de la reivindicación 7, en donde la resolución del primer mapa SLAM es una resolución de 5 cm y la resolución del segundo mapa SLAM es una resolución de 1 cm.
9. El robot móvil de la reivindicación 7, en donde el segundo mapa SLAM usado para escanear la coincidencia de exploración durante la segunda navegación incluye un mapa de la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot.

10. El robot móvil de la reivindicación 7, en donde el segundo mapa SLAM usado para coincidencia de exploración durante la segunda navegación consiste en un mapa de la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot.
- 5 11. El robot móvil de la reivindicación 9, en donde la coincidencia de exploración durante la segunda navegación localiza el robot (18) mediante el uso de una exploración local de la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot contra el mapa de la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot.
- 10 12. El robot móvil de la reivindicación 11, en donde la exploración local es una exploración con radar láser de la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot en la resolución del segundo mapa SLAM.
13. El robot móvil de la reivindicación 7, en donde la posición inicial (604) está separada de la estación de acoplamiento de carga (500) del robot por una primera distancia y la posición (602) de acoplamiento está separada de la estación de cargador (500) del robot por una segunda distancia.
- 15 14. El robot móvil de la reivindicación 13, en donde la primera distancia es mayor que la segunda distancia.
15. El robot móvil de la reivindicación 8, en donde la posición inicial (604) y la posición (602) de unión se almacenan en una memoria (34) en una de las bases móviles con ruedas o en un servidor remoto.
- 20 16. Un medio legible por ordenador que tiene almacenadas en el mismo instrucciones que, cuando son ejecutadas por un procesador (620) de un robot (18), hacen que el robot (18) ejecute las etapas que comprenden:
- 25 recibir una posición inicial (604) asociada con una estación de acoplamiento del cargador (500) del robot;
 recibir una posición (602) de unión asociada con la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot; estando el medio legible por ordenador **caracterizado por que** tiene almacenadas instrucciones adicionales, que cuando son ejecutadas por el procesador (620) del robot (18), hacen que el robot (18) ejecute las etapas de:
- 30 controlar una primera navegación de un robot desde una ubicación hasta la posición inicial (604) mediante el uso de coincidencia de exploración en un primer mapa SLAM;
 controlar una segunda navegación (742) del robot desde la posición inicial (604) hasta la posición (602) de unión mediante el uso de coincidencia de exploración con un
 35 segundo mapa SLAM que tiene una resolución mayor que una resolución del primer mapa SLAM, haciendo así que el puerto (26) de carga eléctrica del robot (18) se una con una unidad de carga eléctrica (200) de la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot al llegar a la posición de acoplamiento.
- 40 17. El medio legible por ordenador de la reivindicación 16, en donde la resolución del primer mapa SLAM una resolución de 5 cm y la resolución del segundo mapa SLAM es una resolución de 1 cm.
- 45 18. El medio legible por ordenador de la reivindicación 16, en donde el segundo mapa SLAM usado para escanear la coincidencia de exploración durante la segunda navegación (742) incluye un mapa de la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot.
- 50 19. El medio legible por ordenador de la reivindicación 18, en donde la coincidencia de exploración durante la segunda navegación (742) localiza el robot (18) mediante el uso de una exploración local de la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot contra el mapa de la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot.
20. El medio legible por ordenador de la reivindicación 19, en donde la exploración local es una exploración con radar láser de la estación de acoplamiento del cargador (500) del robot a la resolución del segundo mapa.

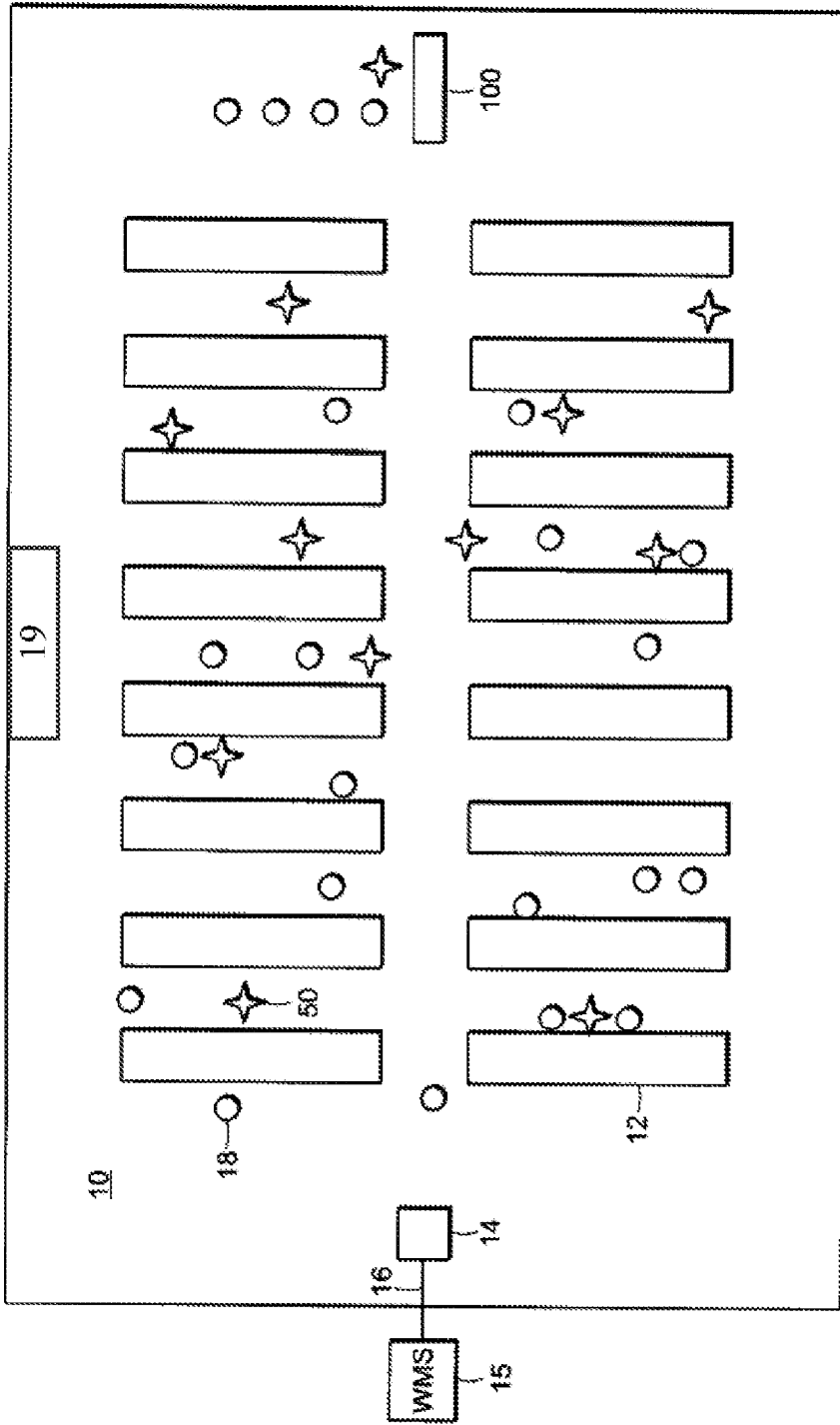


FIG. 1

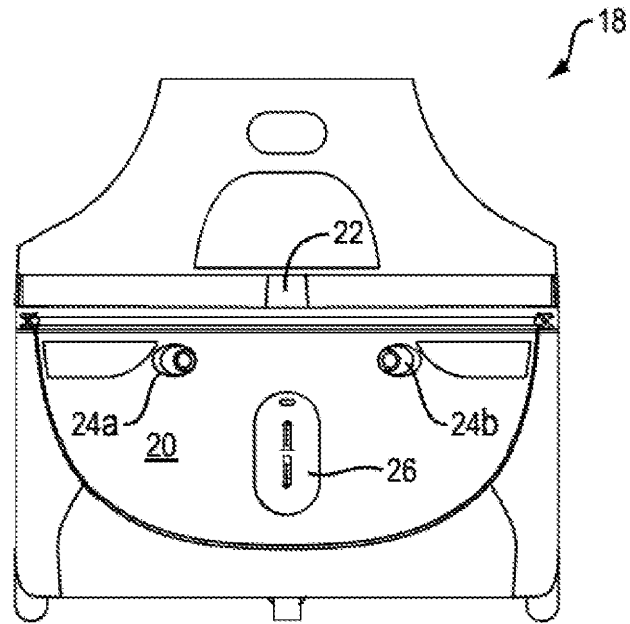


FIG. 2A

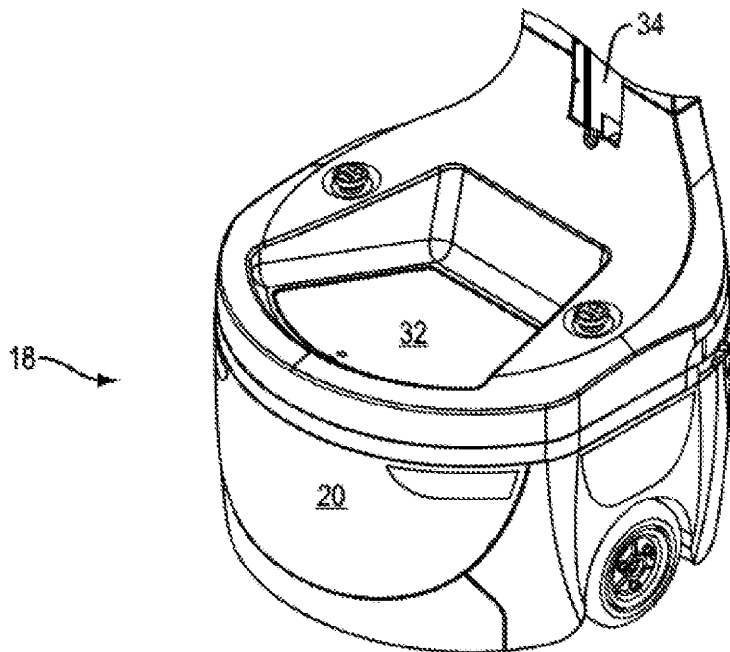


FIG. 2B

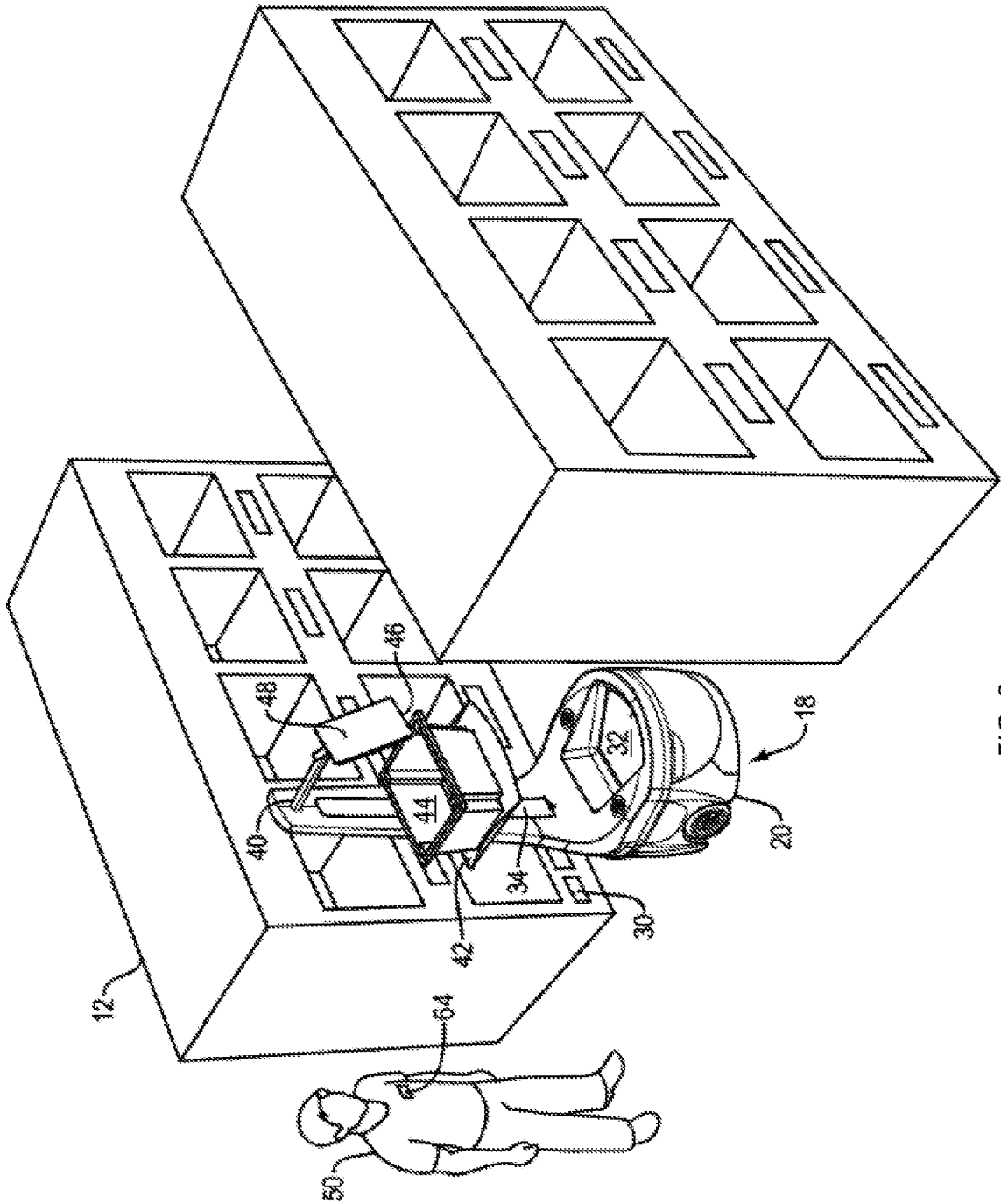


FIG. 3

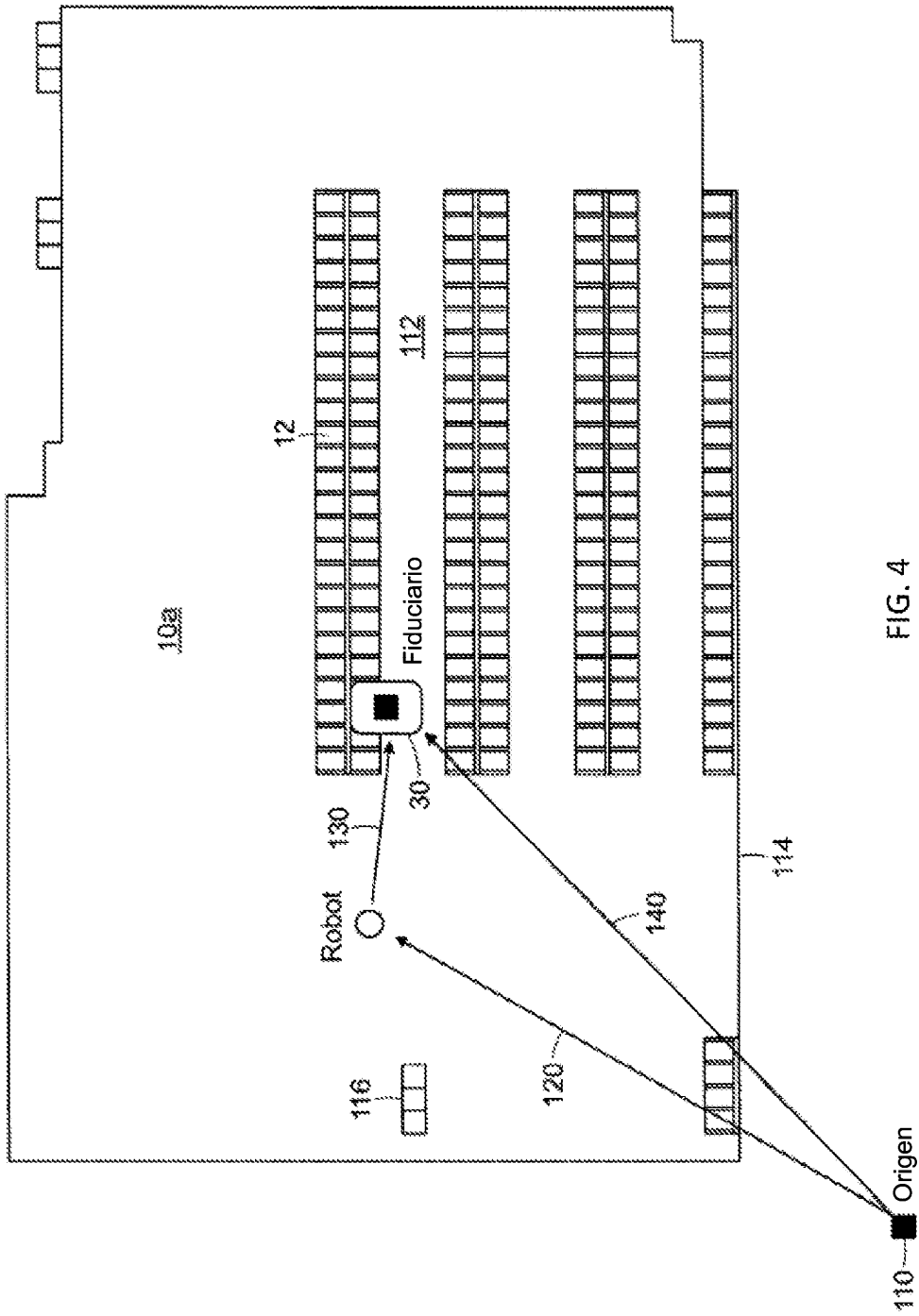


FIG. 4

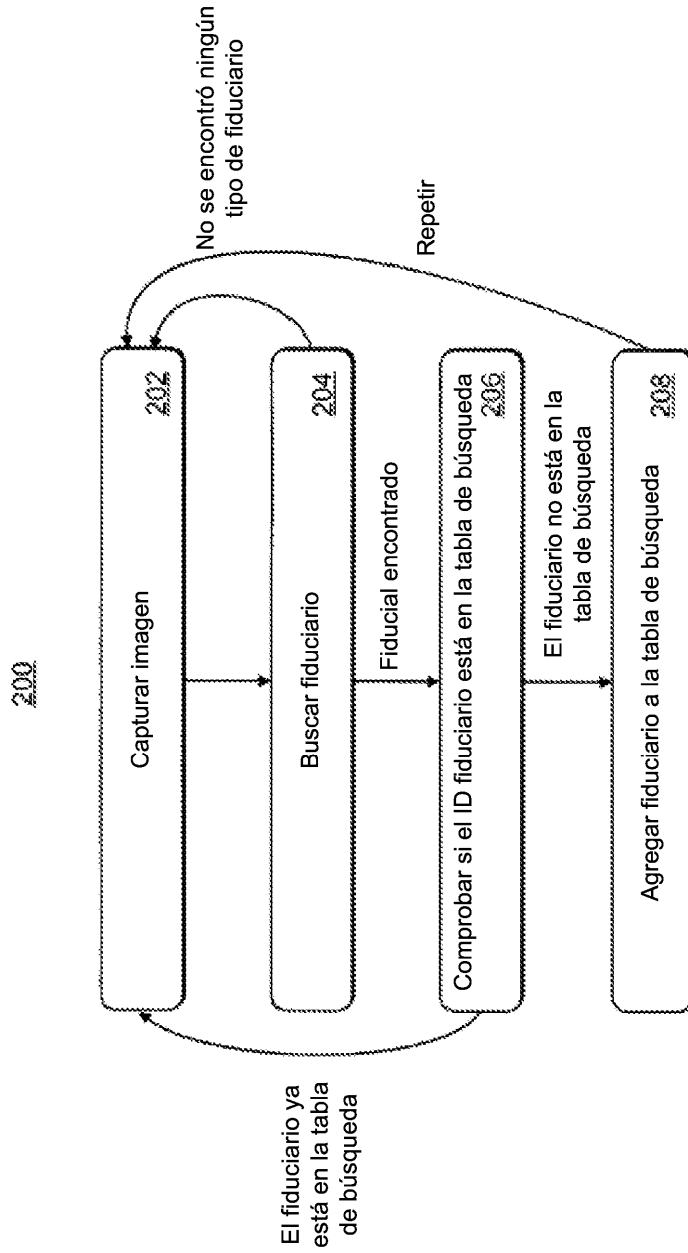


FIG. 5

300

ID Fiducial	x	y	z	cuaternión.x	cuaternion.y	cuaternión.z	cuaternión.w
1	-10,2	2,3	0	0	0	0	1
2	23,1	15,8	0	0	0	0	1
3	45,3	3,3	0	0	0	-1	0

FIG. 6

400	Ubicación	ID Fiducial	404
402a	L01001A	11	
402b	L01001B	11	
402c	L01001C	11	
402d	L01001D	11	
402e	L01001E	11	
402f	L01001F	11	
	L01002A	12	
	L01002B	12	
	L01002C	12	
	L01002D	12	
	L01002E	12	
	L01003A	13	
	L01003B	13	
	L01003C	13	
	L01003D	13	
	L01003E	13	
	L01003F	13	
	L01004A	14	
	L01004B	14	
	L01004C	14	
	L01004D	14	
	L01004E	14	
	L01005A	15	
	L01005B	15	
	L01005C	15	
	L01005D	15	
	L01005E	15	
	L01005F	15	

FIG. 7

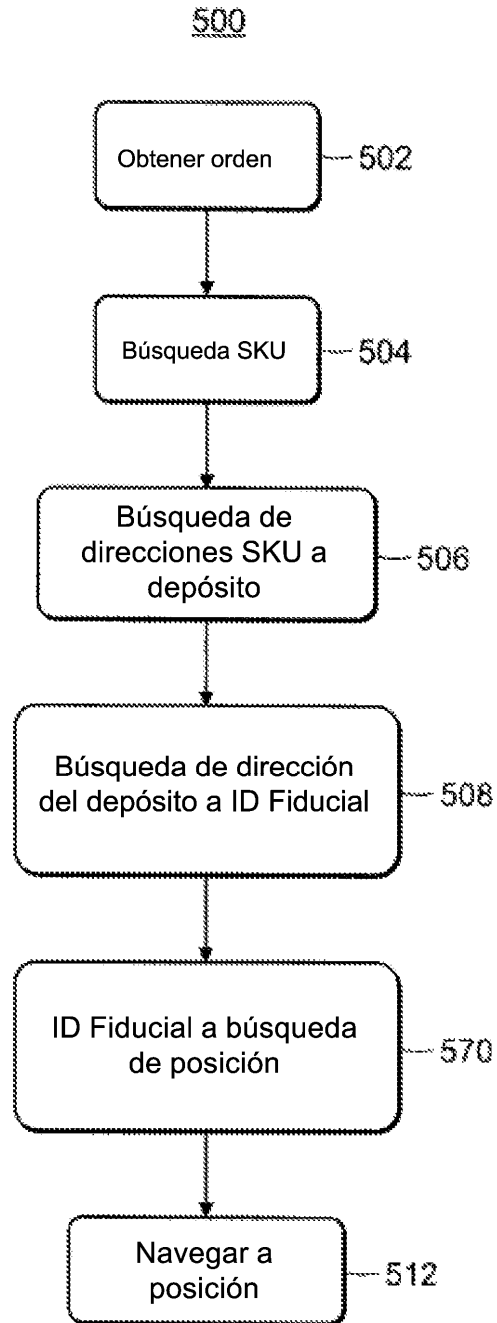


FIG. 8

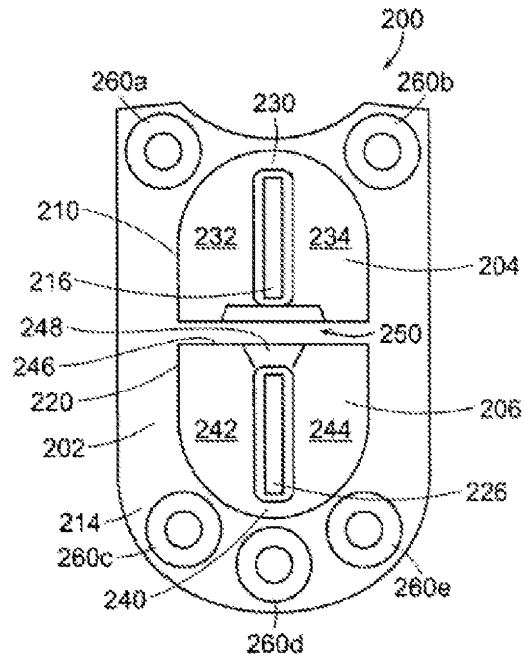


FIG. 9

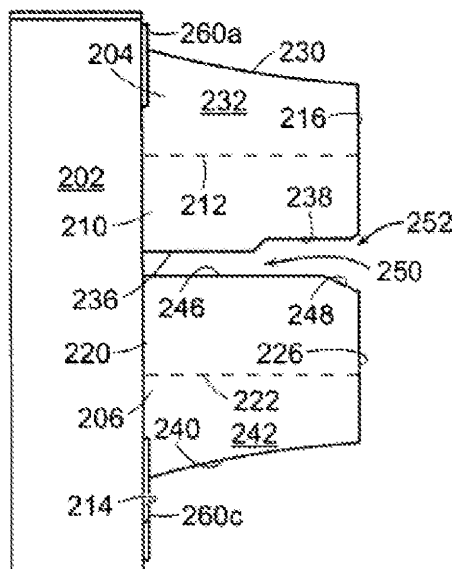


FIG. 10

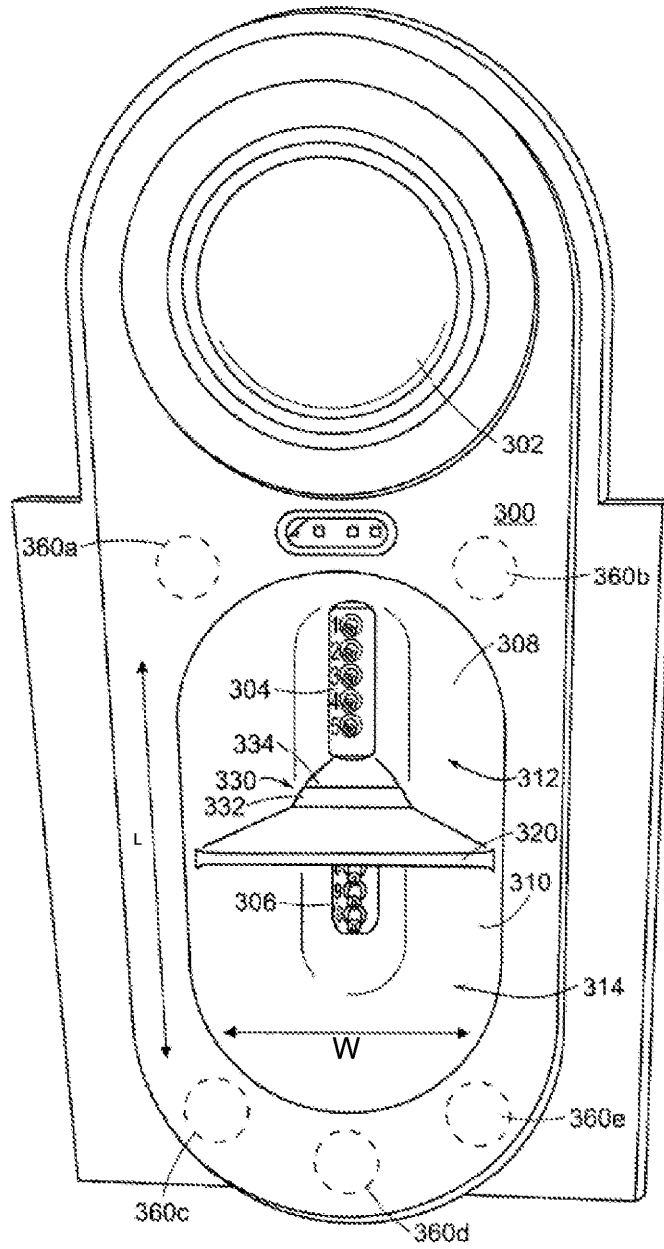


FIG. 11

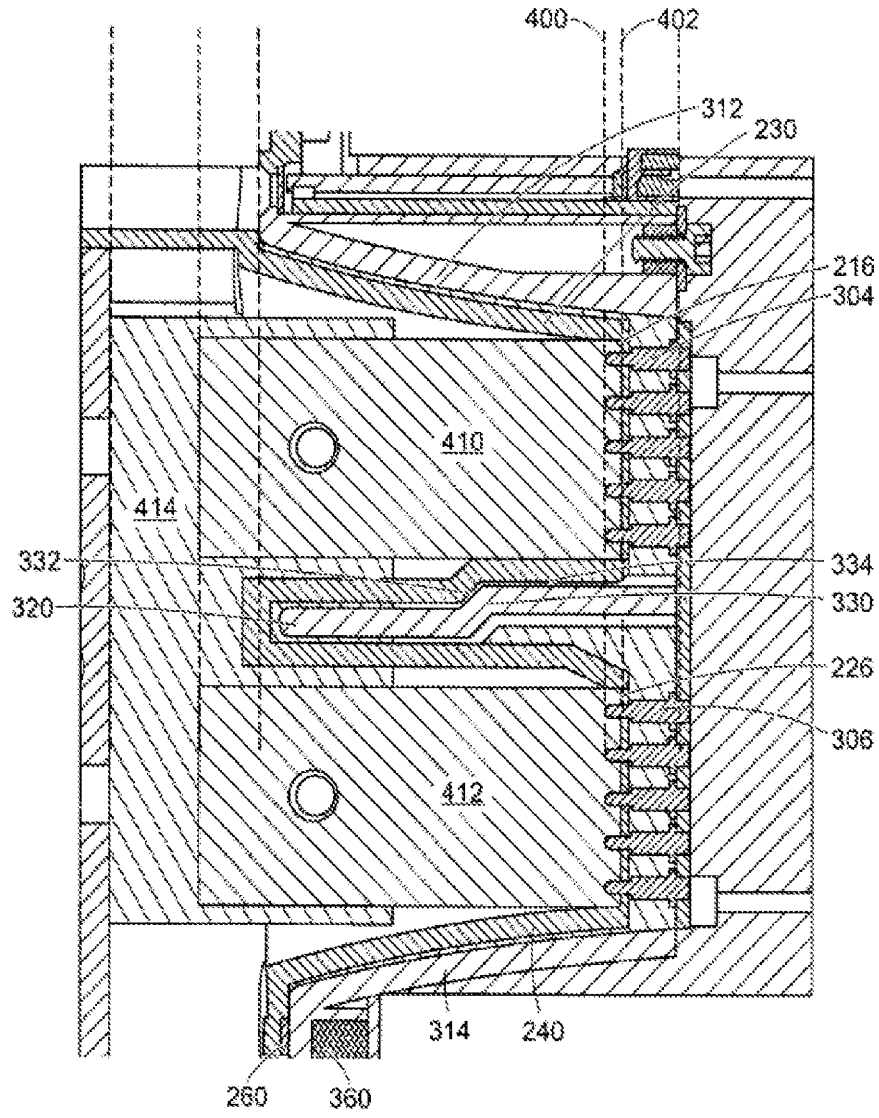


FIG. 12

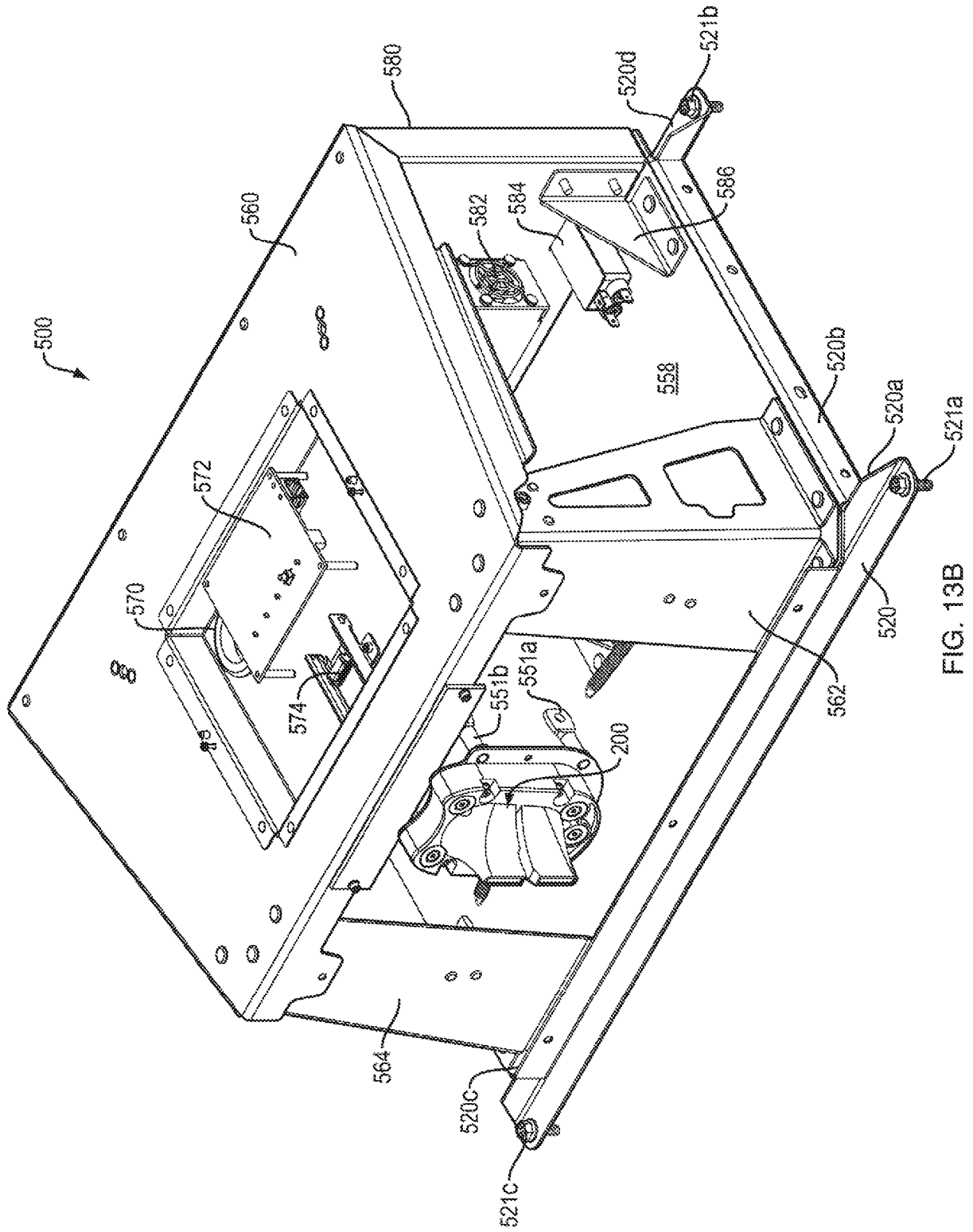


FIG. 13B

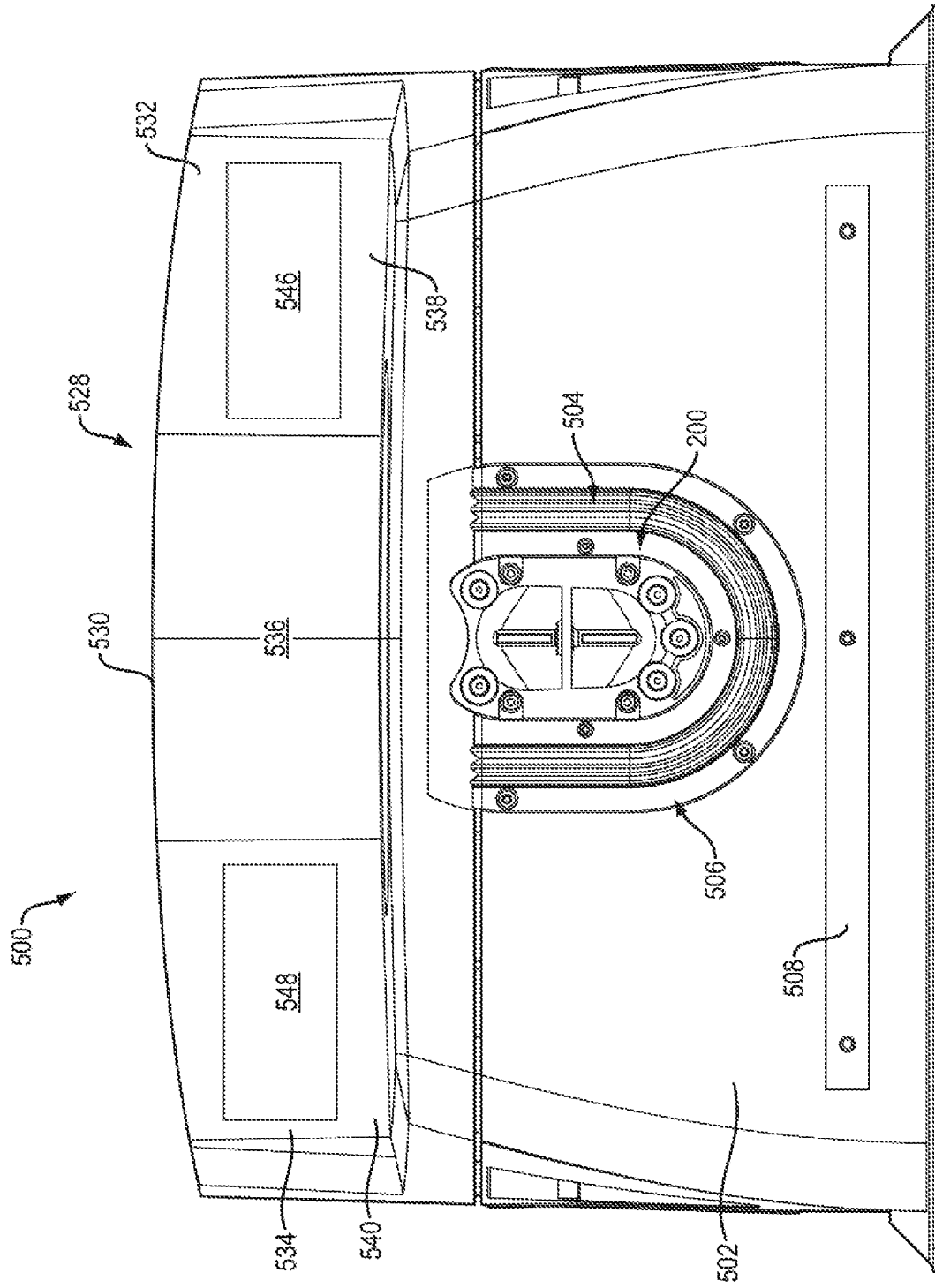


FIG. 14A

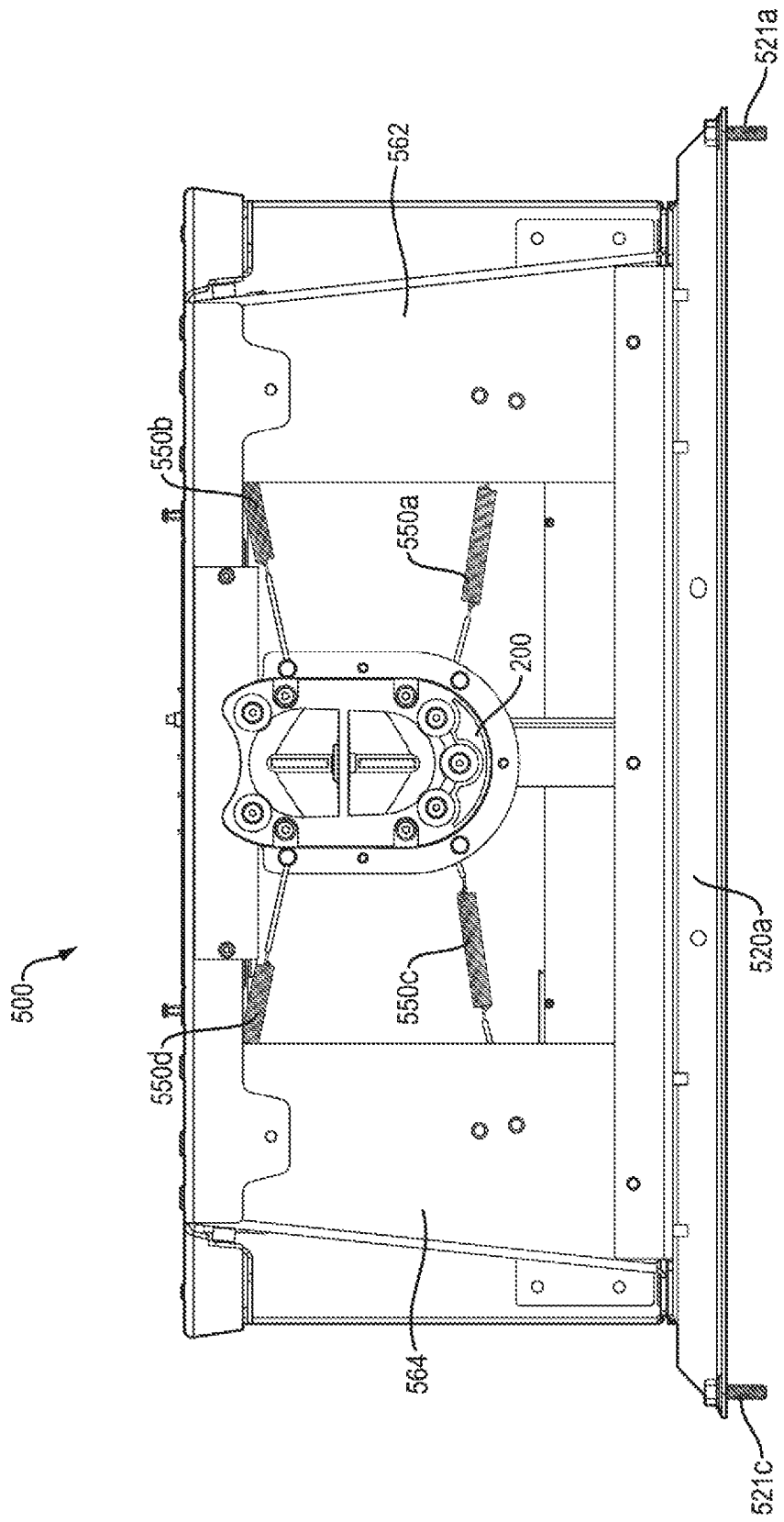


FIG. 14B

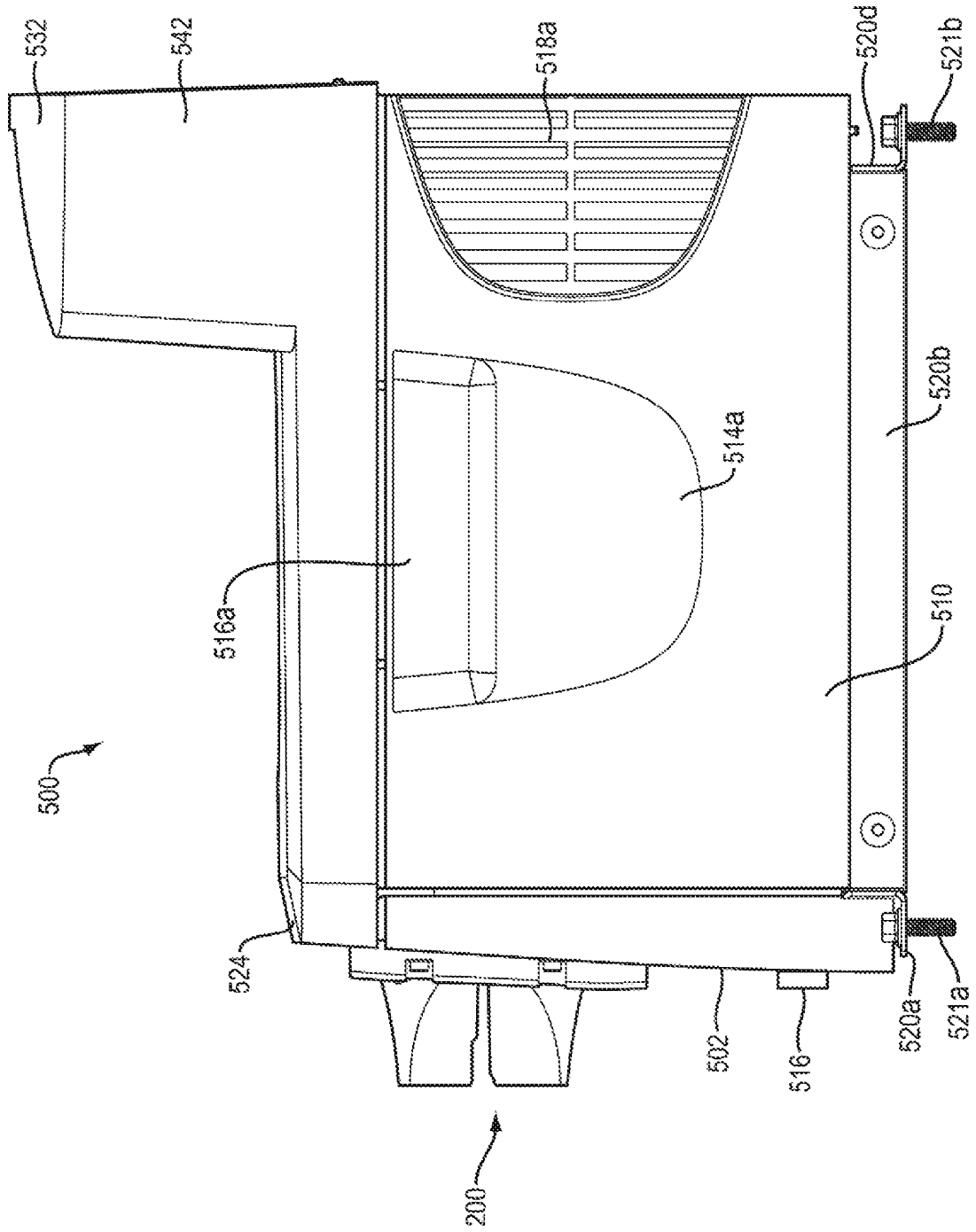


FIG. 15A

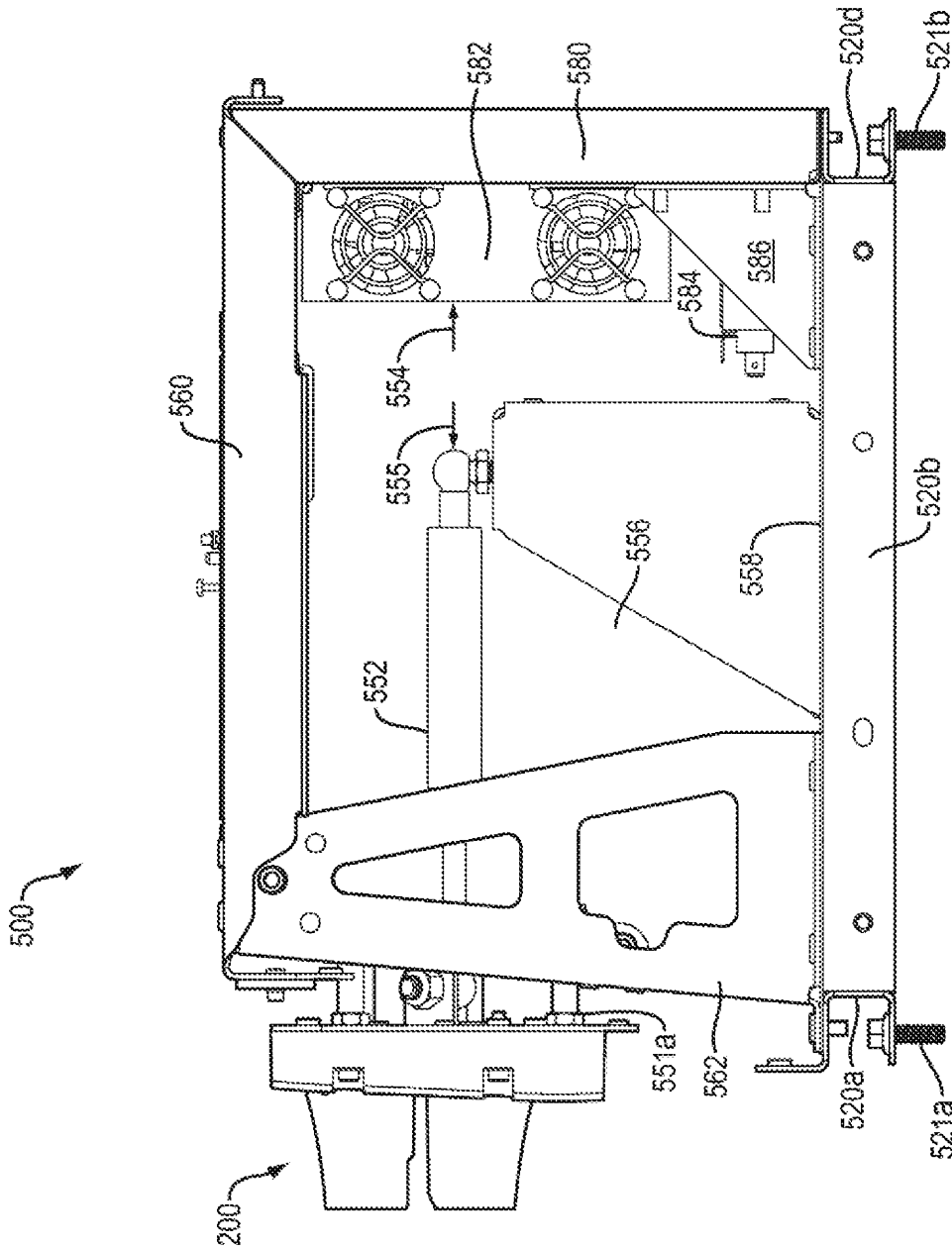


FIG. 15B

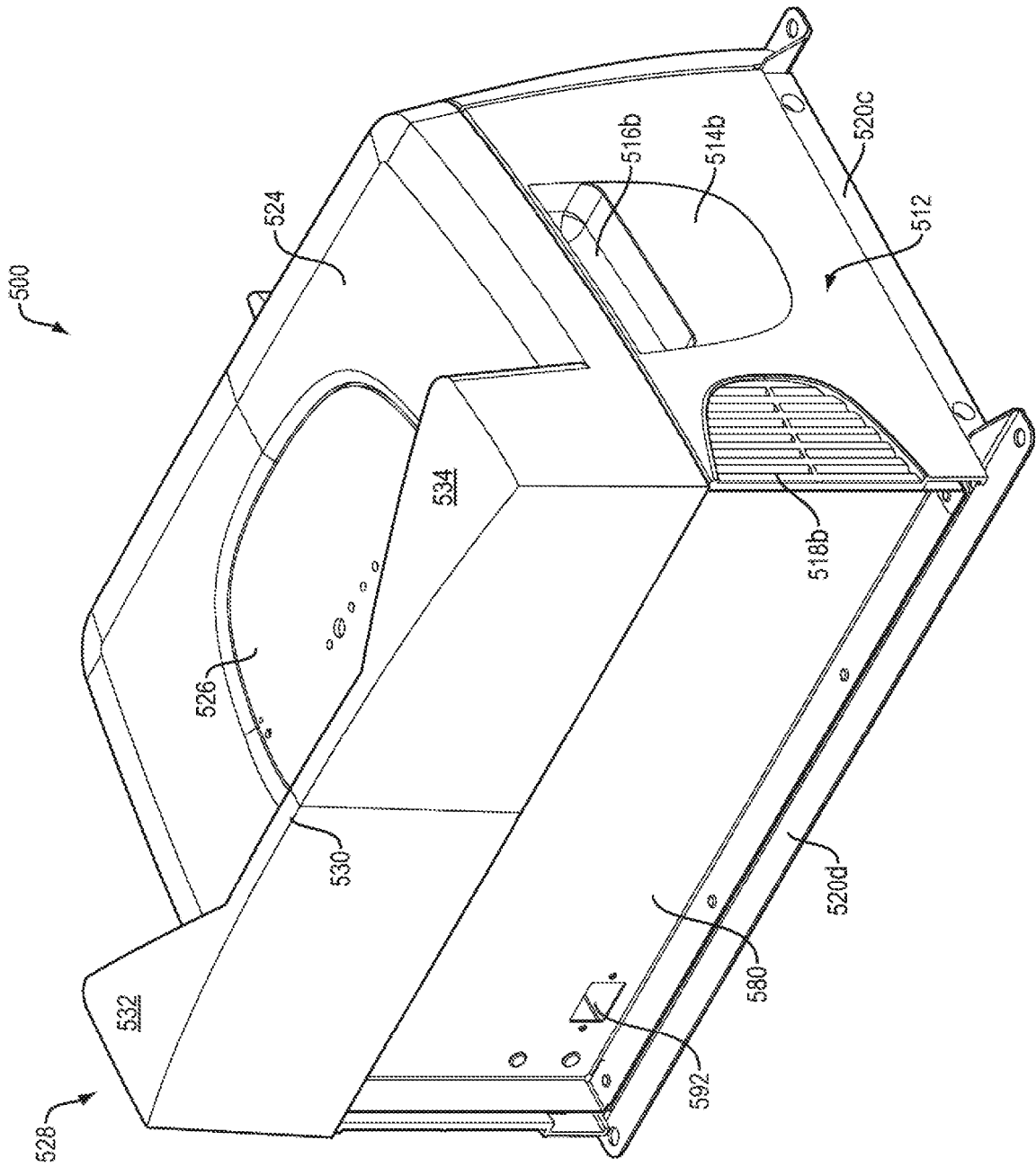


FIG. 16A

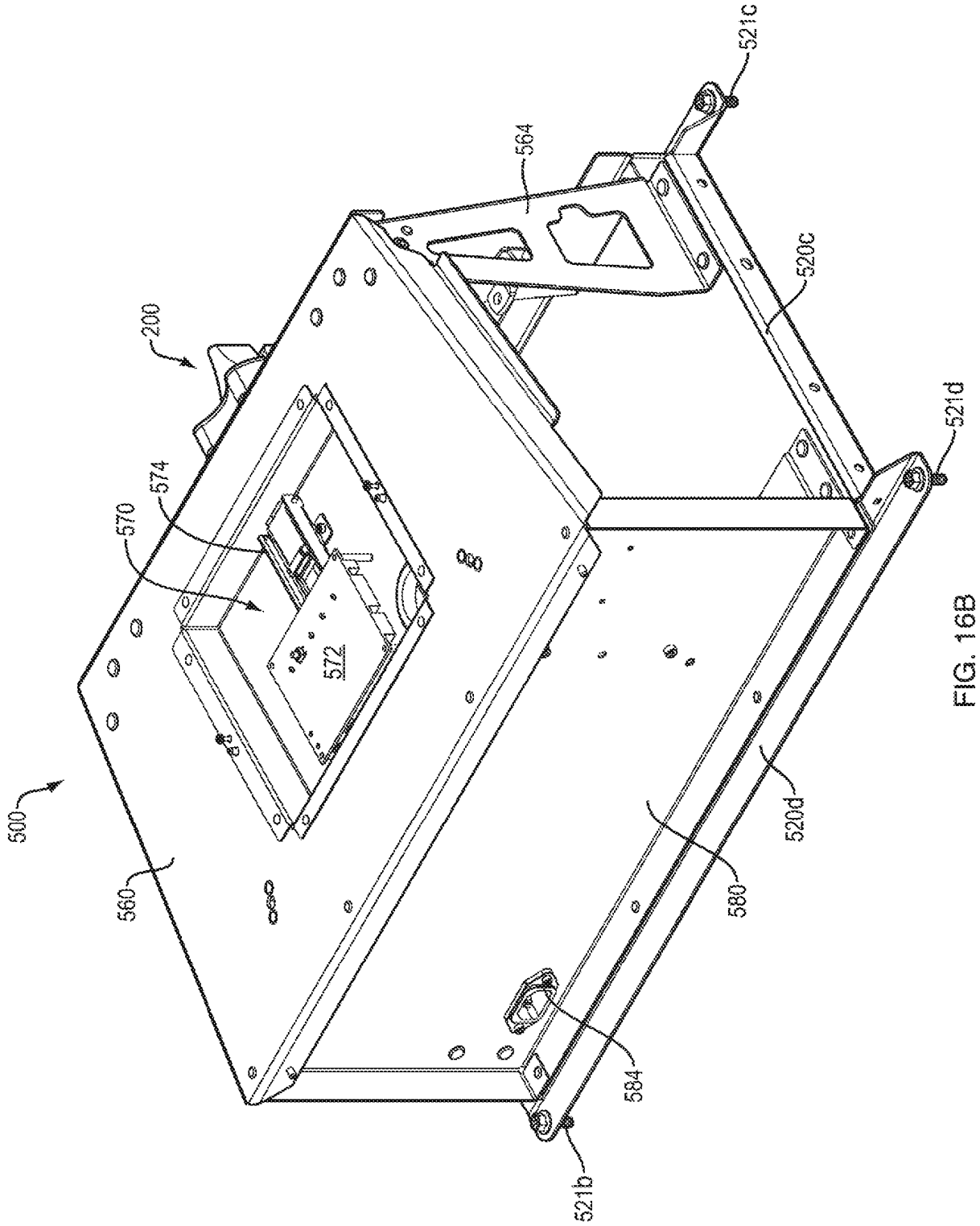


FIG. 16B

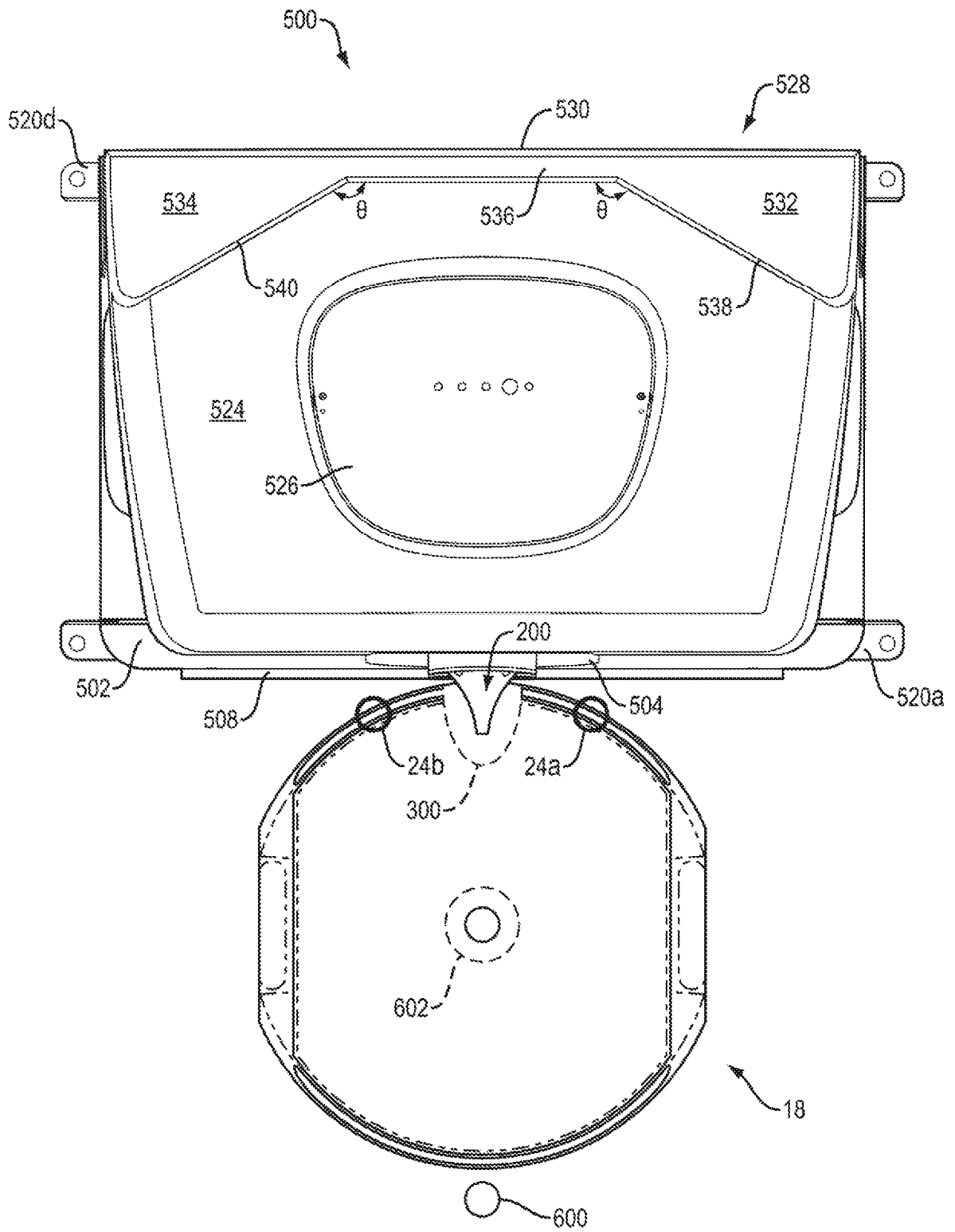


FIG. 17

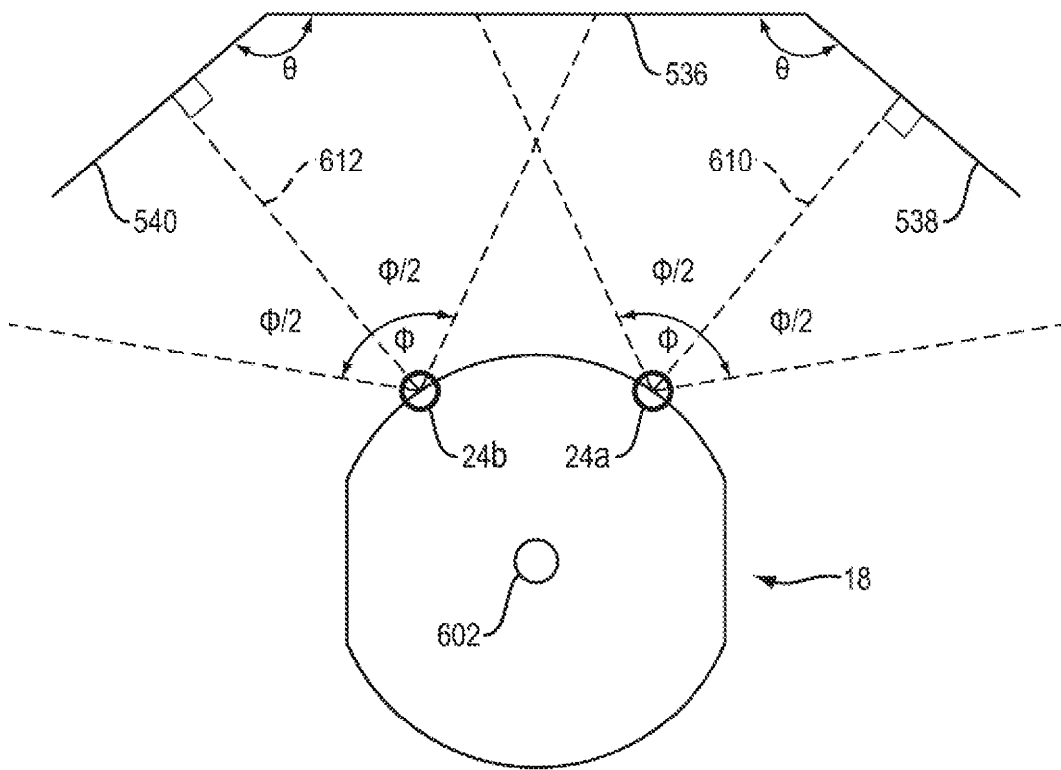


FIG. 18

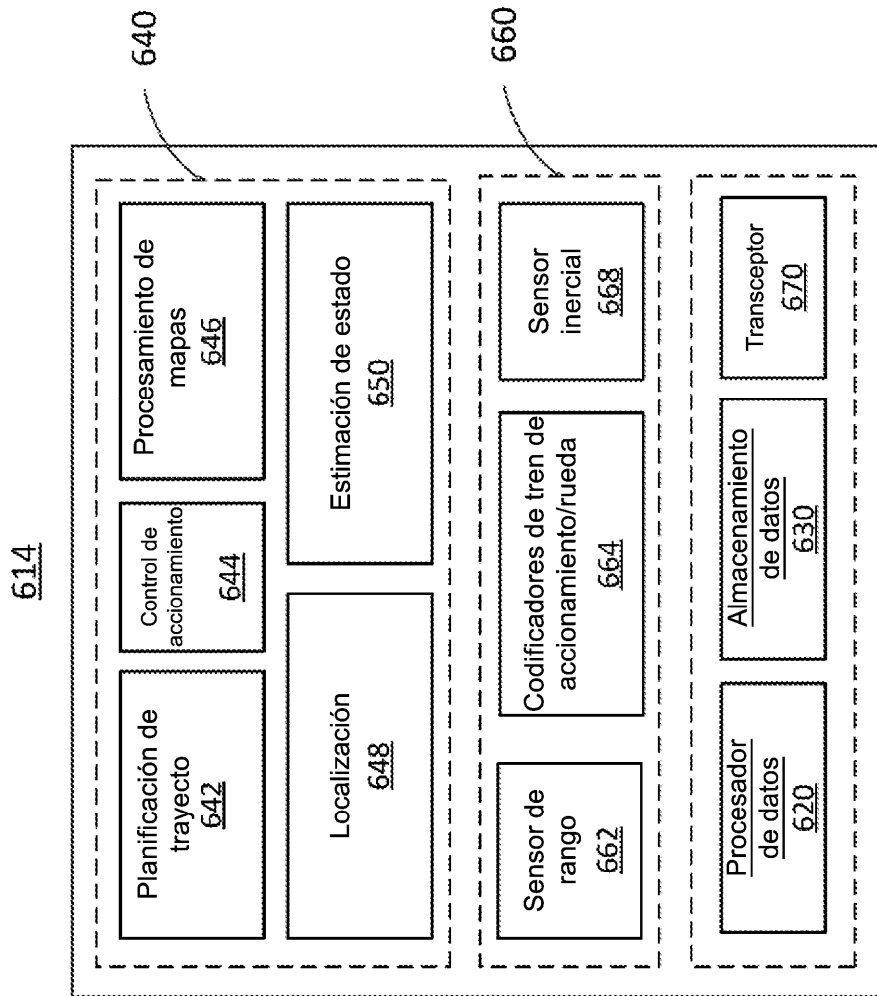


FIG. 19

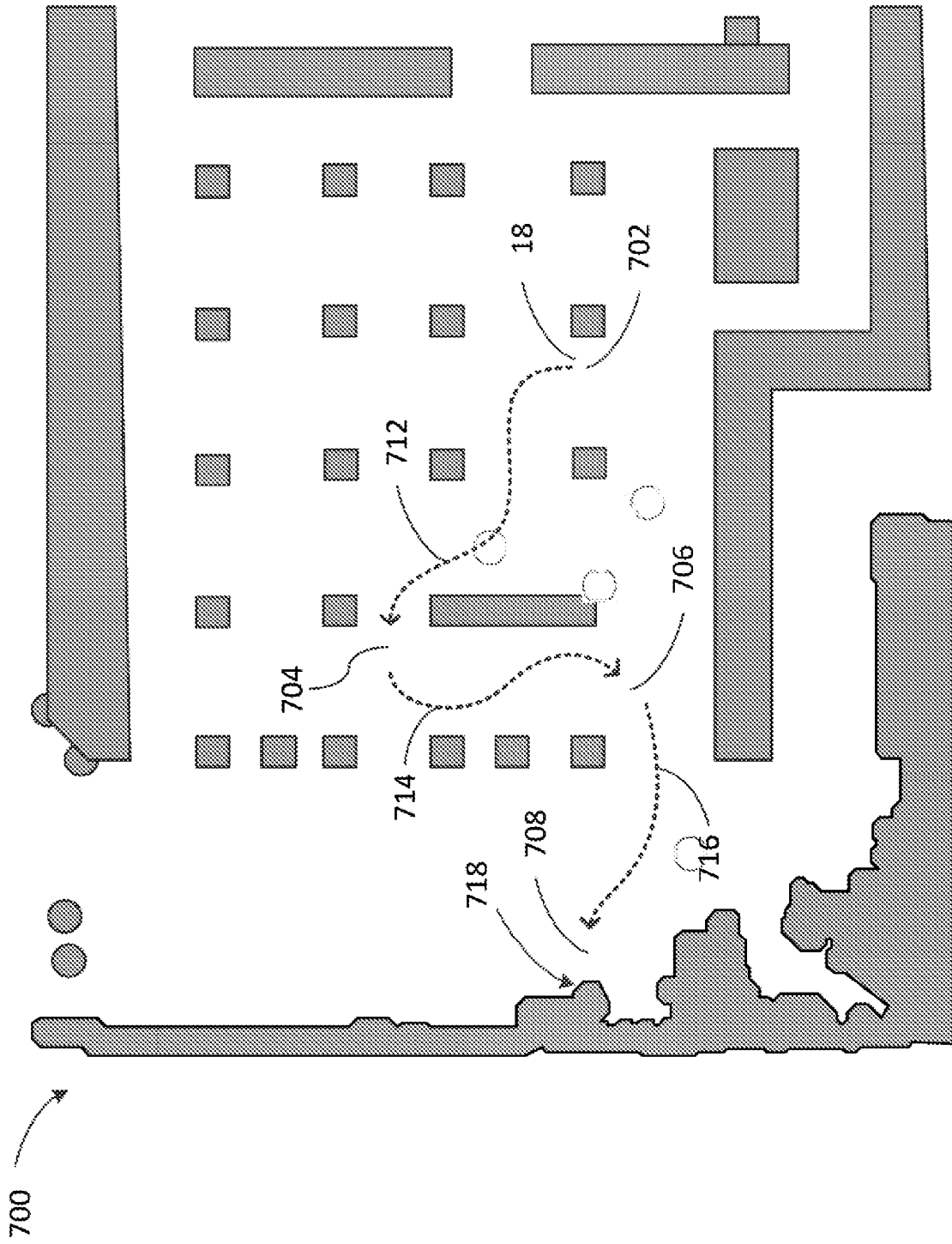


FIG. 20

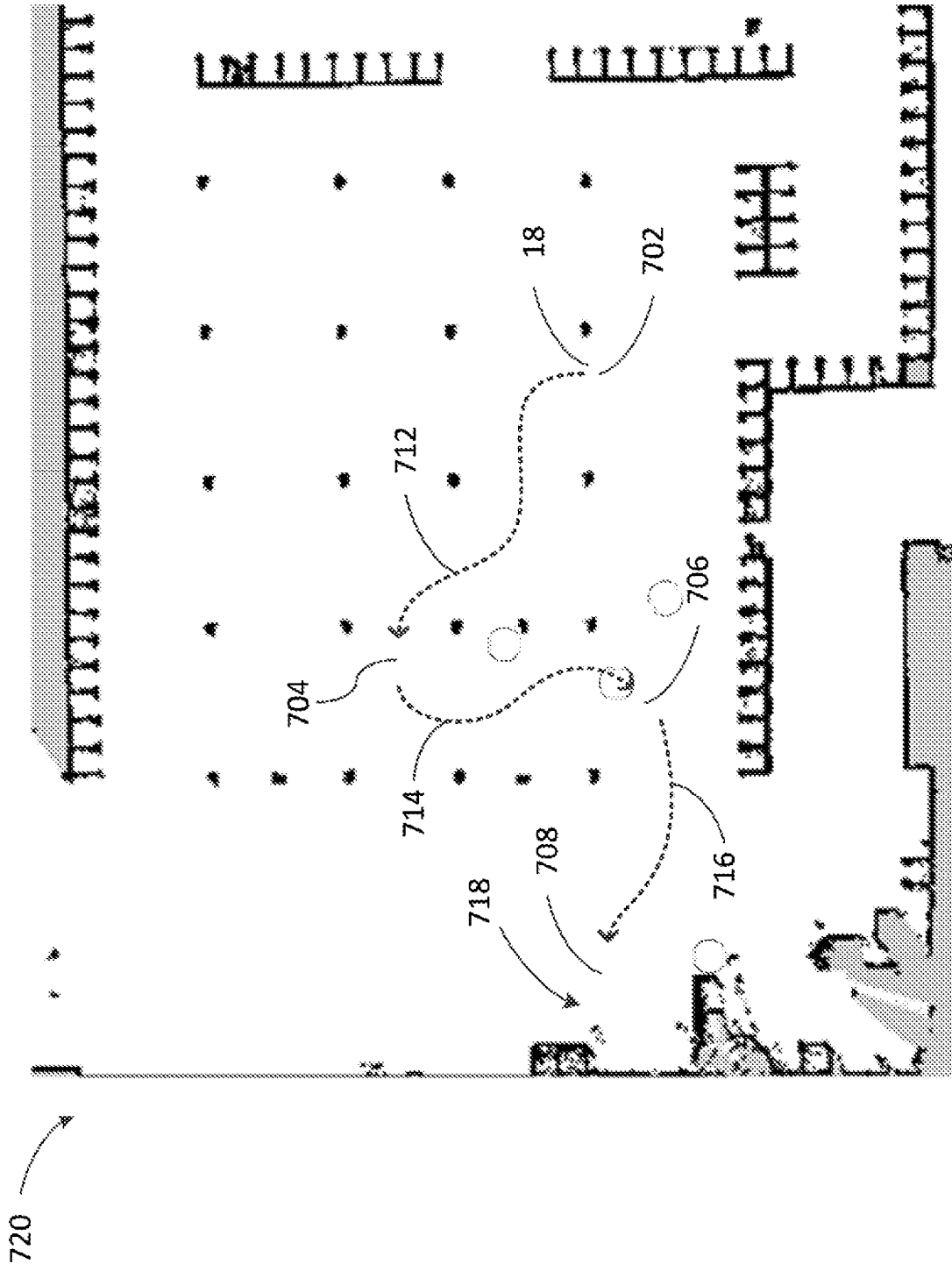


FIG. 21

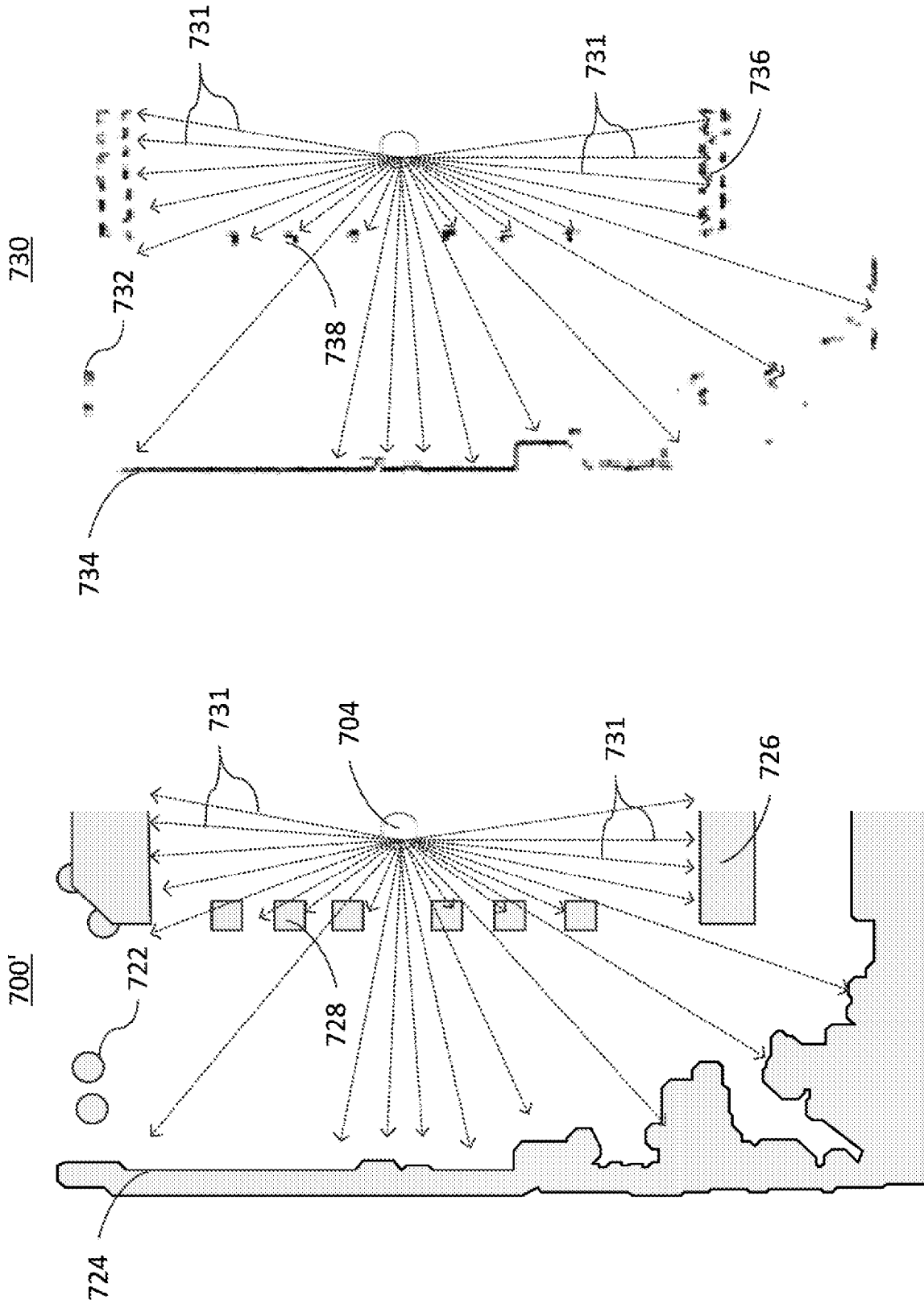


FIG. 22B

FIG. 22A

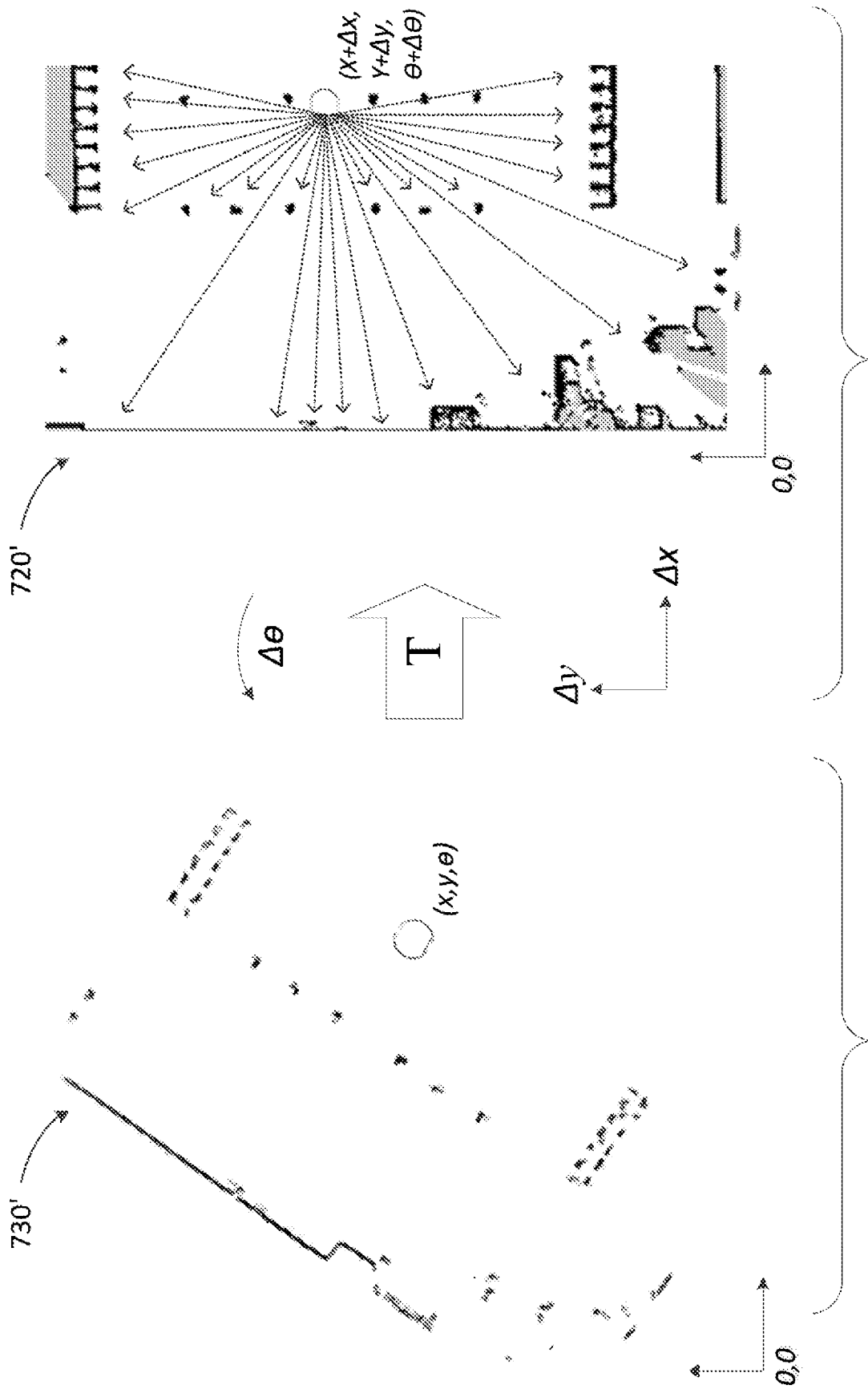


FIG. 23B

FIG. 23A

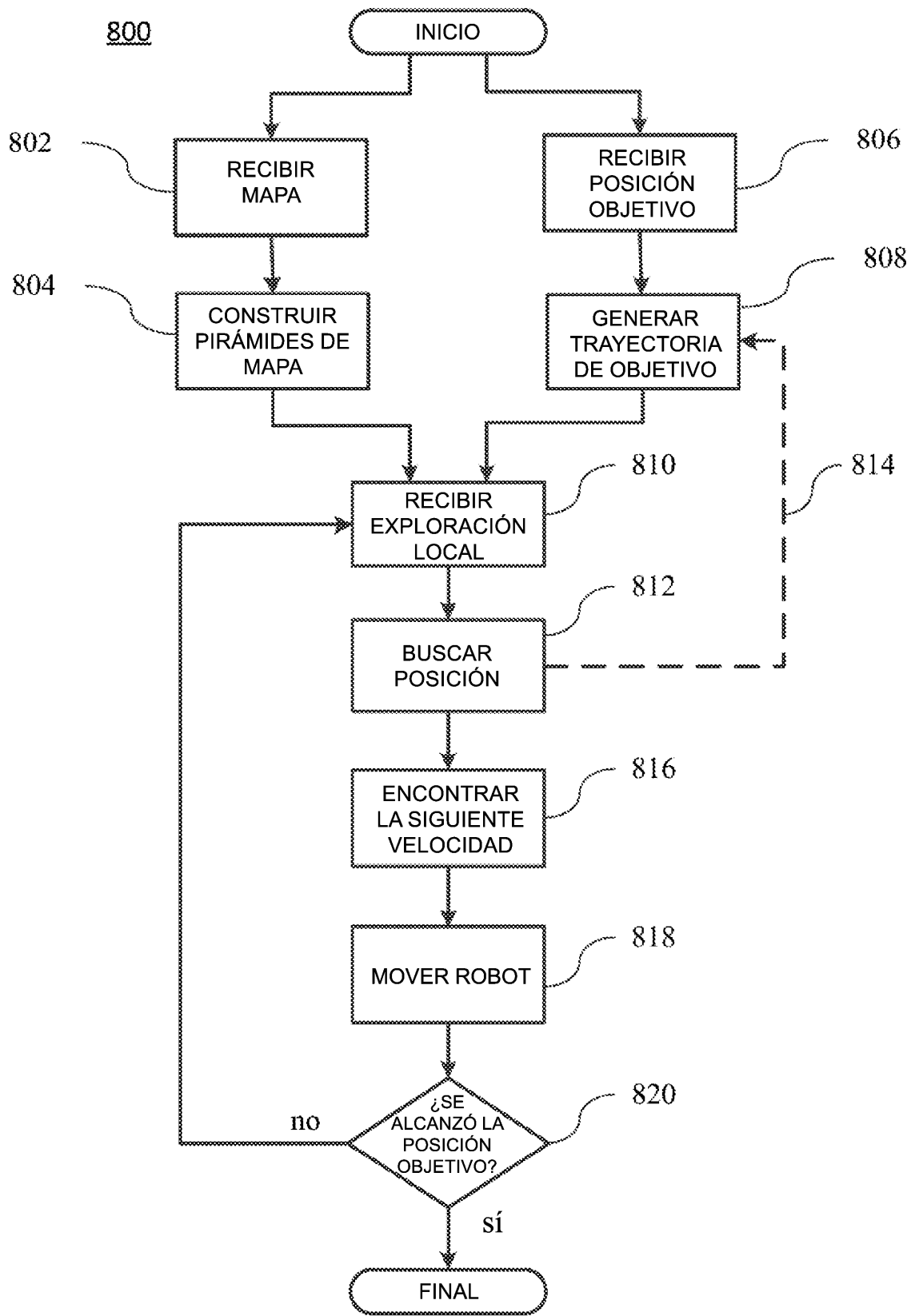


FIG. 24

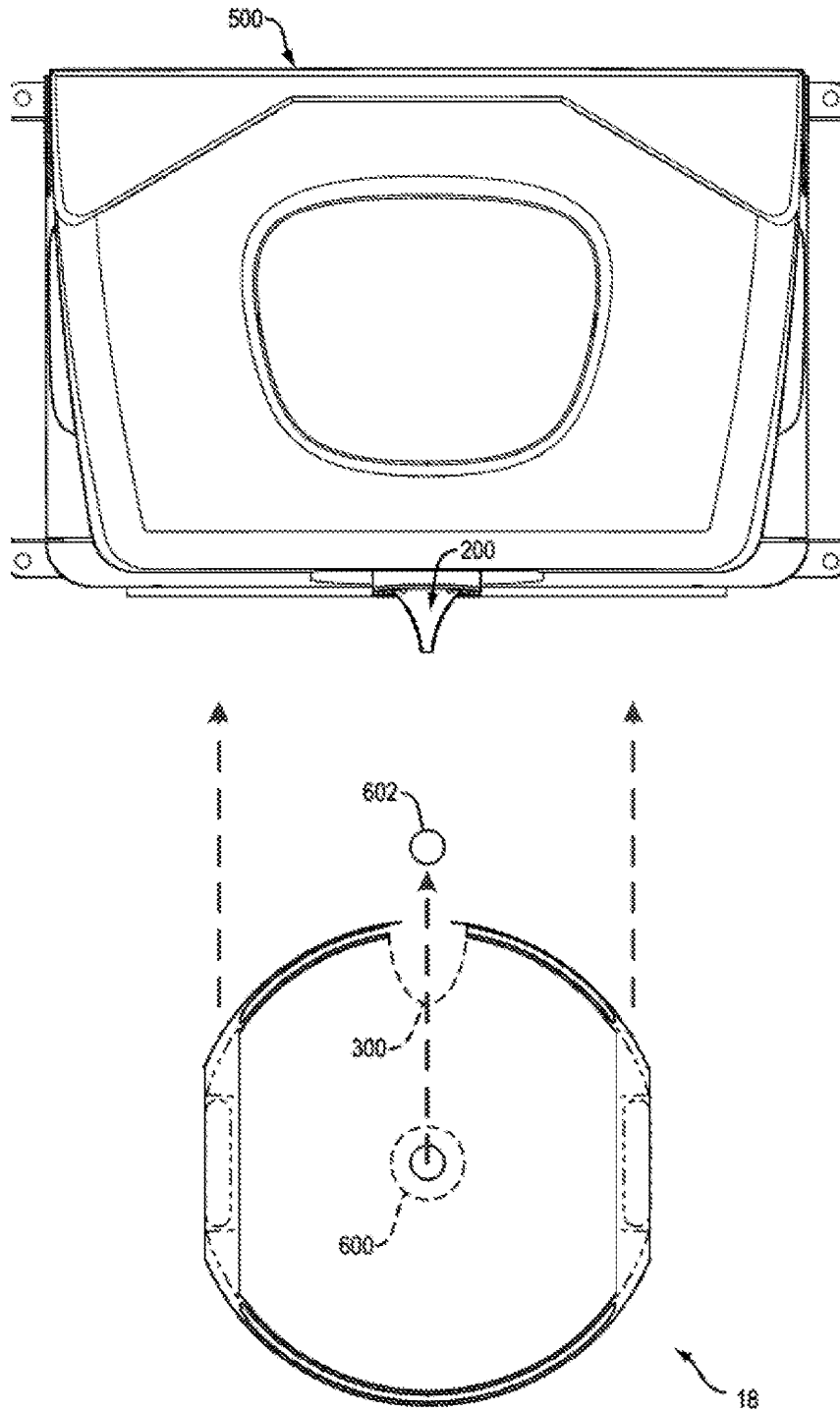


FIG. 25

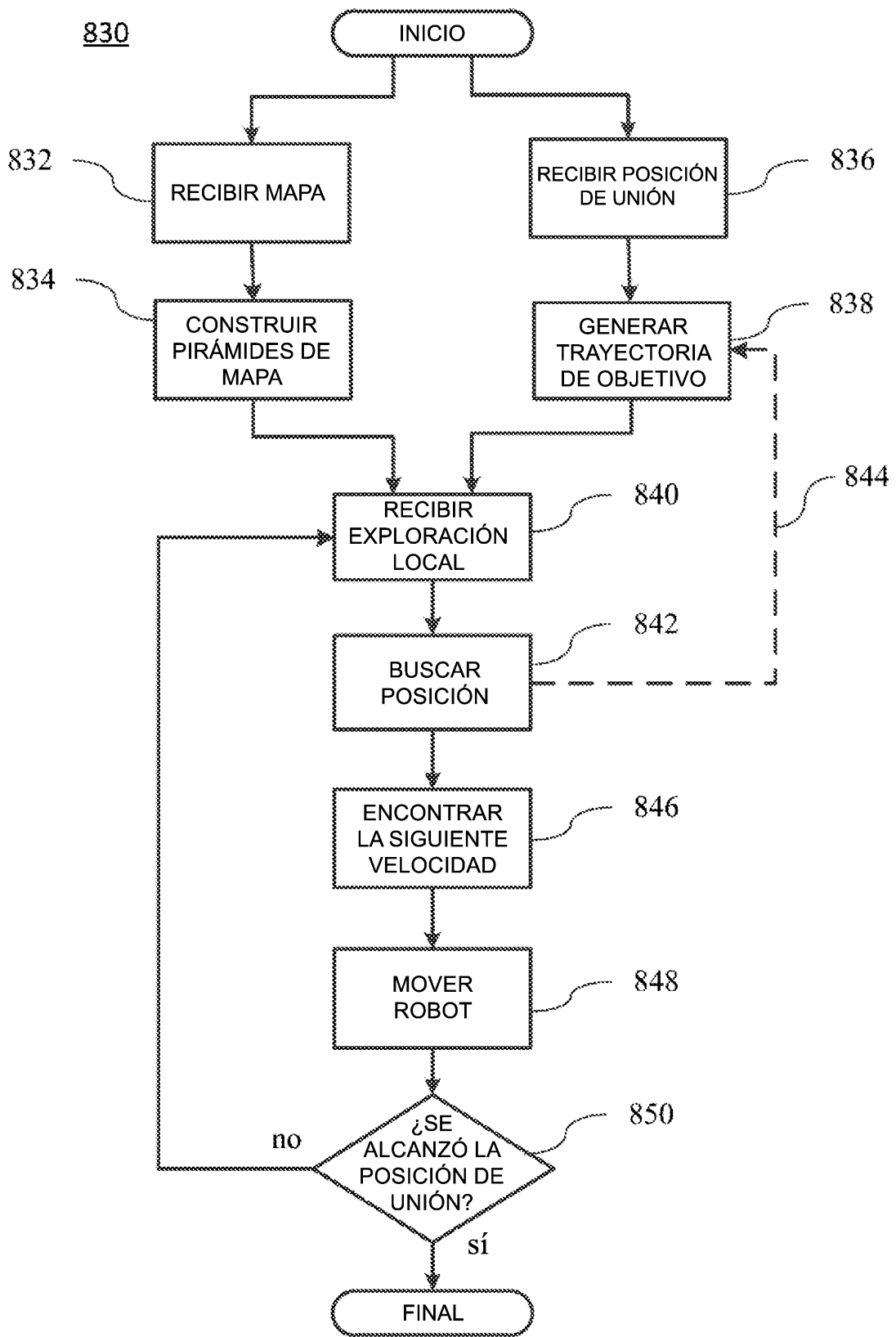


FIG. 26

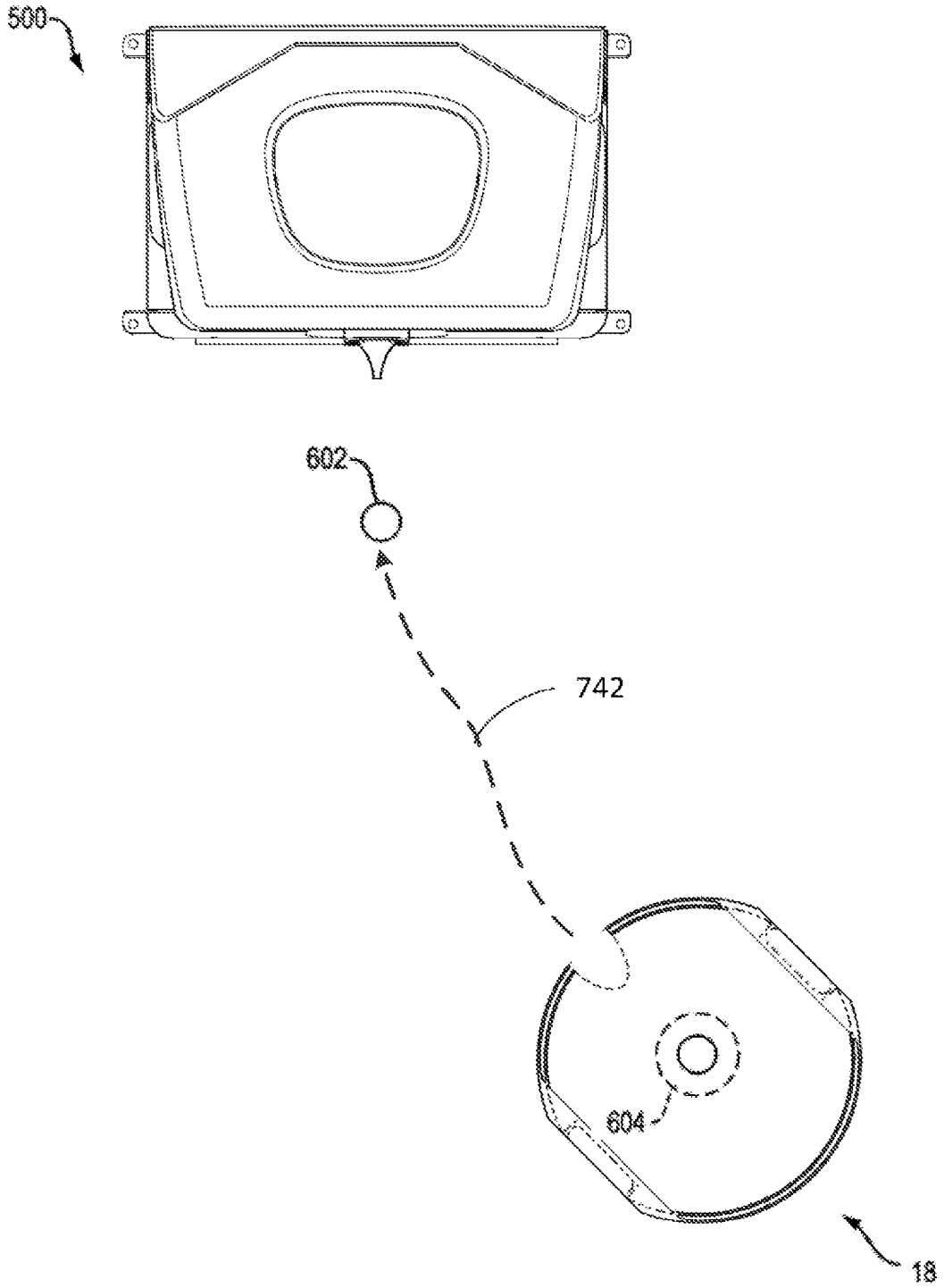


FIG. 27

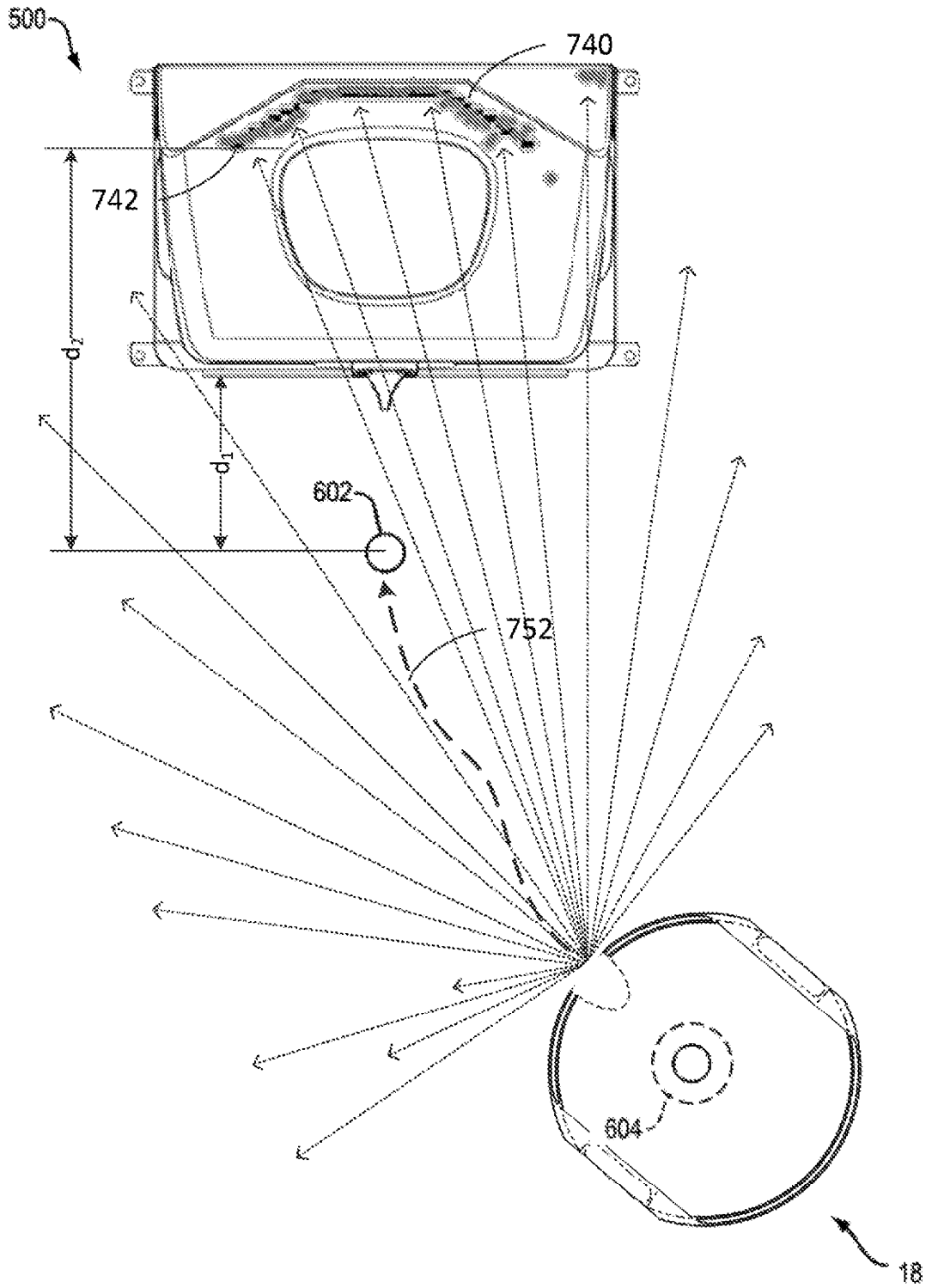


FIG. 28

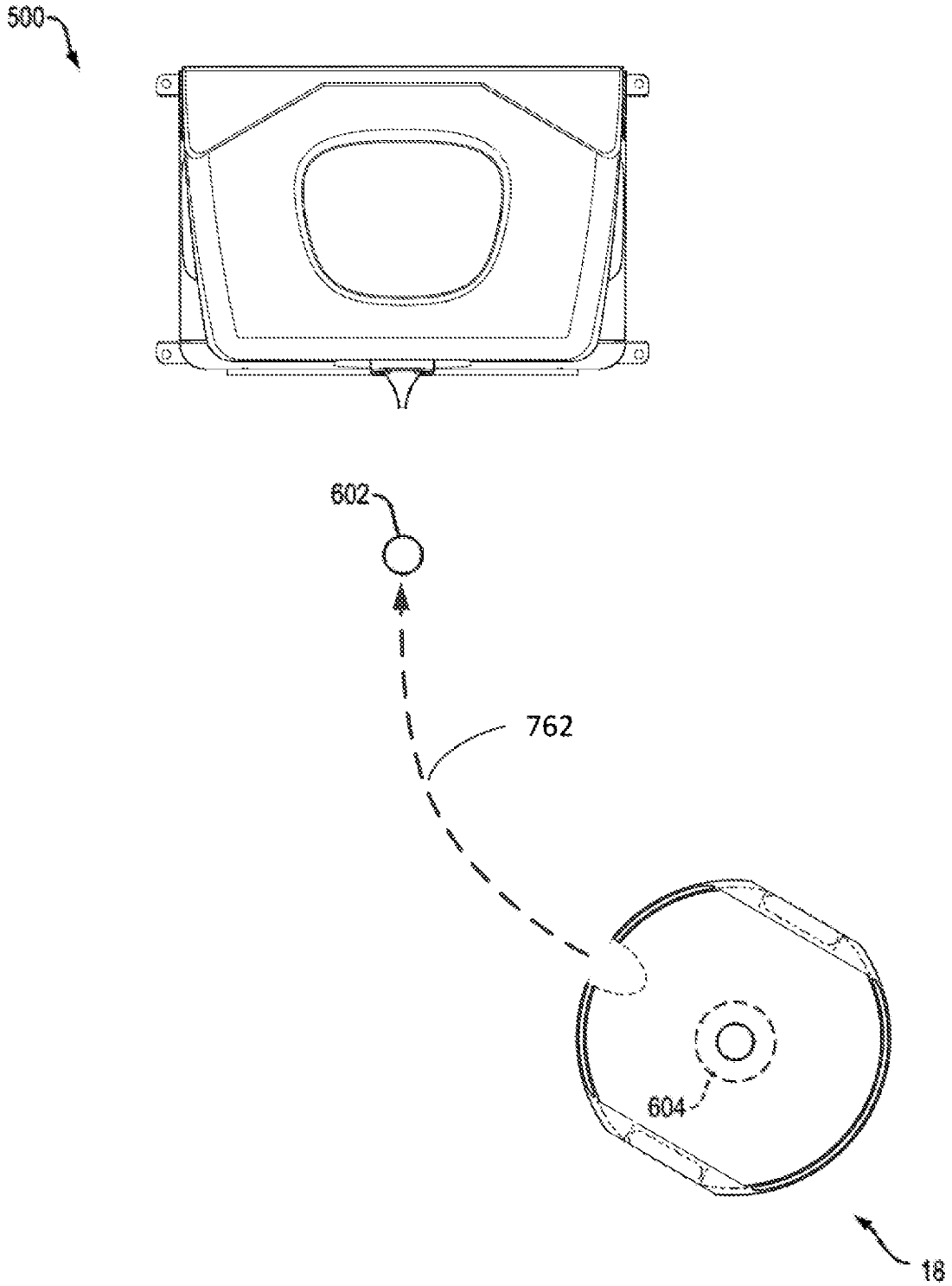


FIG. 29

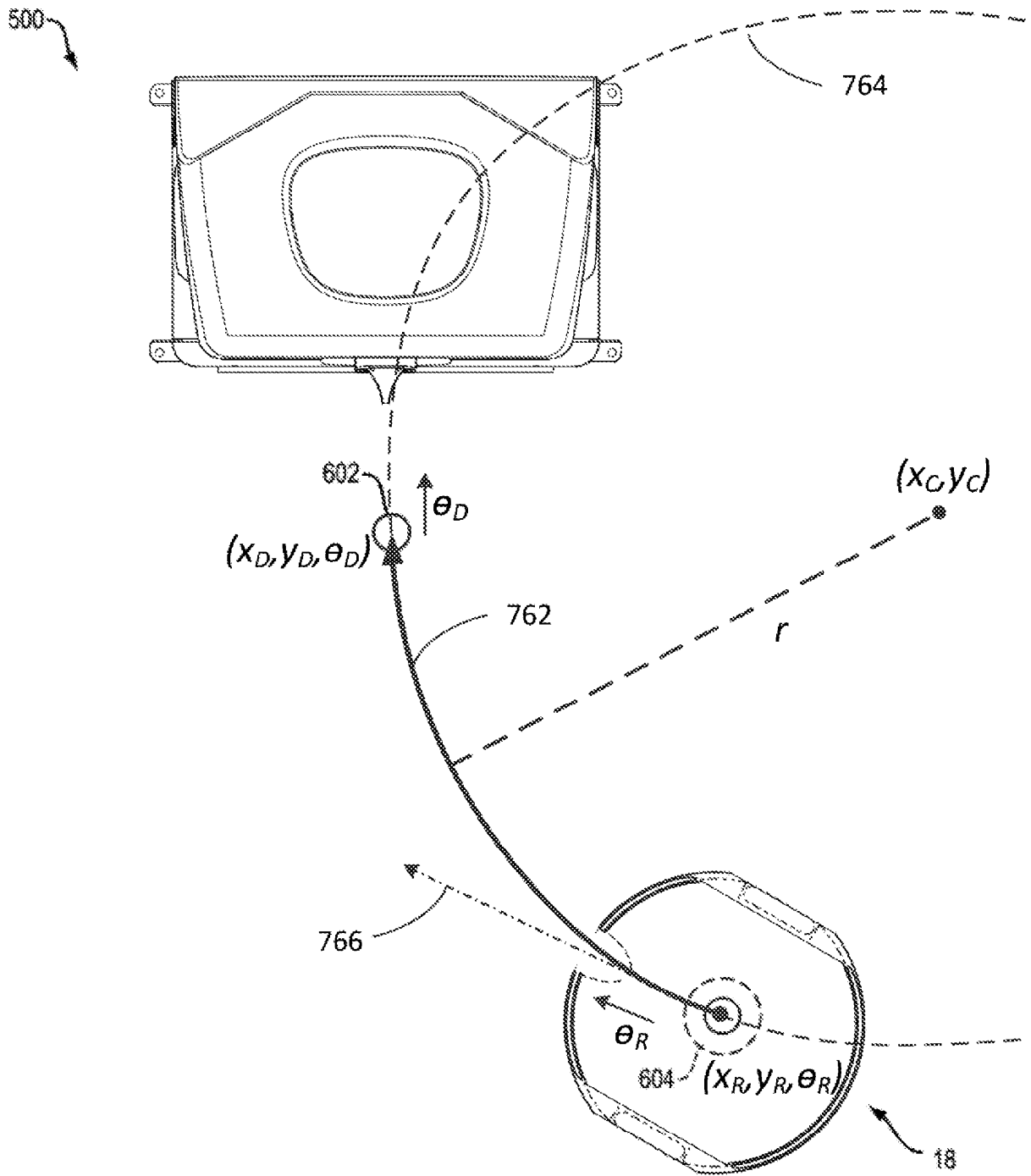


FIG. 30

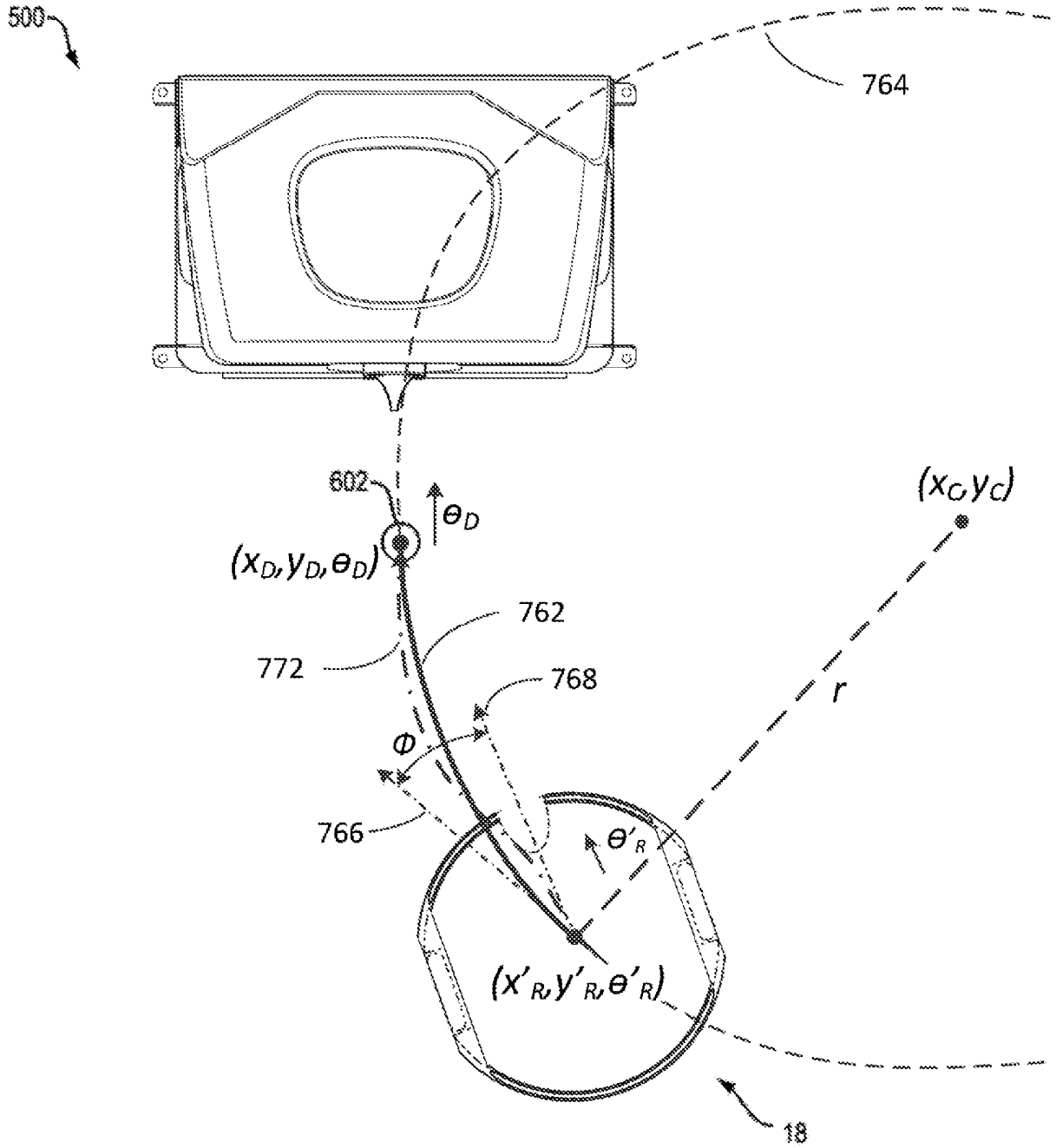


FIG. 31