



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 303 131**

51 Int. Cl.:  
**B25J 9/02** (2006.01)  
**B25J 9/06** (2006.01)  
**B25J 17/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04809081 .5**  
86 Fecha de presentación : **16.12.2004**  
87 Número de publicación de la solicitud: **1694472**  
87 Fecha de publicación de la solicitud: **30.08.2006**

54 Título: **Manipulador cinemático paralelo para espacios de trabajo grandes.**

30 Prioridad: **16.12.2003 US 529695 P**  
**15.01.2004 US 536506 P**  
**10.06.2004 US 578322 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**01.08.2008**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**01.08.2008**

73 Titular/es: **ABB AB.**  
**Kopparbergsvägen 2**  
**721 83 Västerås, SE**

72 Inventor/es: **Brogårdh, Torgny**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 303 131 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**

Manipulador cinemático paralelo para espacios de trabajo grandes.

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un robot industrial según el preámbulo de la reivindicación 1. Un robot de este tipo comprende un manipulador y un equipo del control para mover un objeto en el espacio. El manipulador comprende un manipulador cinemático paralelo que incluye al menos tres brazos, comprendiendo cada uno de ellos una disposición de enlace. El manipulador comprende una plataforma soportada conjuntamente por los tres brazos. Cada brazo se asocia a un actuador con la finalidad de mover los enlaces de del brazo de tal manera que se logre un movimiento de la plataforma. La tarea de la plataforma es dar soporte directa o indirectamente a los instrumentos u objetos, tanto grandes como pequeños, para el movimiento, la medición, el proceso, el trabajo, el ensamblaje, etc. En particular, el manipulador se destina a ser utilizado en la industria de fabricación pero también puede plantearse la transferencia de mercancías y los conductos para los pasajeros en puertos y aeropuertos.

La invención también se refiere a un método para la reconfiguración de un robot industrial según la invención.

**20 Técnica anterior**

Un robot industrial incluye un manipulador y una unidad de control que tienen medios para hacer funcionar automáticamente el manipulador. Hay diferentes tipos de manipuladores, tales como un manipulador cinemático en serie y un manipulador cinemático paralelo.

Se define un manipulador cinemático paralelo (PKM) como un manipulador que comprende al menos un elemento estacionario, un elemento móvil, por lo general una plataforma, y al menos tres brazos. Cada brazo comprende una disposición de enlace conectada con la plataforma móvil. Cada brazo es actuado unos medios de conducción dispuestos preferiblemente en el elemento estacionario para reducir la masa móvil. Estas disposiciones de enlace transfieren fuerzas a la plataforma móvil. Para un manipulador cinemático paralelo completamente construido para el movimiento de la plataforma con tres grados de libertad, por ejemplo en las direcciones  $x$ ,  $y$  y  $z$  en un sistema cartesiano de coordenadas, se requiere tres brazos que trabajan en paralelo. Para obtener un sistema de brazo rígido con una gran capacidad de carga y un peso bajo, los brazos del manipulador cinemático paralelo deberían tener un total de seis enlaces. Esto significa que los brazos deben compartir los seis enlaces entre sí, y esto se puede hacer solamente con determinadas combinaciones.

Cuando se requiere un espacio de trabajo rectangular en las aplicaciones del manipulador, se utilizan hoy los así llamados manipuladores de pórtico. Estos manipulan una plataforma con normalmente cuatro grados de libertad:  $x$ ,  $y$ ,  $z$  y una rotación alrededor del eje  $z$ . Estos manipuladores se componen de un eje de rotación y de tres vías lineales conectadas en serie, en las cuales se mueven las unidades móviles en las direcciones  $x$ ,  $y$  y  $z$ .

La solicitud de patente internacional W002/34480 describe un robot industrial del tipo de pórtico que comprende una plataforma dispuesta para llevar un objeto, estando un primer brazo dispuesto para influenciar la plataforma en un primer movimiento y comprendiendo un primer actuador que tiene una primera vía y un primer carro linealmente desplazable a lo largo de la primera vía, y al menos dos enlaces, cada uno de los cuales comprende una junta externa dispuesta en la plataforma y una junta interna dispuesta en el primer carro, un segundo brazo dispuesto para influenciar la plataforma en un segundo movimiento y que comprende un segundo actuador, que tiene una segunda vía y un segundo carro linealmente desplazable a lo largo de la segunda vía, y dos enlaces, cada uno de los cuales comprende una junta externa dispuesta en la plataforma y una junta interna dispuesta en el segundo carro, y un tercer brazo dispuesto para influenciar la plataforma en un tercer movimiento y que comprende un tercer actuador y al menos un enlace, el cual comprende una junta externa dispuesta en la plataforma y una junta interna conectada al tercer actuador. El brazo soporta un eje de rotación cuando el manipulador tiene cuatro grados de libertad.

En este documento se describe un robot para el cual los brazos comparten los seis enlaces entre sí en combinaciones de 3/2/1. Para lograr un ángulo constante de rotación de la plataforma los tres enlaces del primer brazo se disponen en paralelo y de modo que los enlaces formen un paralelogramo. Un robot de la técnica anterior de este tipo se muestra en la figura 1 de la presente solicitud. El espacio de trabajo obtenido con el robot en la figura 1 se muestra en la figura 2. Como se muestra en la figura 2, el espacio de trabajo del robot se limita solamente a una parte del área entre las vías lineales. En particular, el espacio de trabajo es muy limitado en comparación con el espacio total ocupado por el robot incluyendo las vías lineales. Sin embargo, en muchos usos industriales hay un deseo de disponer de un espacio de trabajo más grande. En particular, hay un deseo de poder utilizar la mayoría del área entre la primera y segunda vía lineal.

**Objetos y resumen de la invención**

El objeto de la presente invención es proporcionar un robot industrial que comprende un manipulador cinemático paralelo, que resuelva los deseos anteriormente mencionados con respecto a un espacio de trabajo aumentado en relación con el tamaño del robot.

## ES 2 303 131 T3

Este objeto se logra por el robot industrial según lo definido en la reivindicación 1. Según la invención, el robot está dispuesto de tal manera que es posible mover la plataforma y la disposición de enlace entre los lados opuestos de un plano perpendicular a un plano que comprende la primera y la segunda vías y que pasa a través del primer y el segundo carro. Un robot de este tipo se puede reconfigurar, lo cual significa que es posible para el robot trabajar en  
5 ambas direcciones entre las vías lineales. Gracias al hecho de que se puede reconfigurar el robot, se logra un espacio de trabajo aumentado. El espacio de trabajo se prolonga fuera de la extensión de las vías lineales en dos lados. Así, se logra un espacio de trabajo grande en relación con el tamaño del robot.

Según una realización de la invención, el primer enlace del primer brazo está dispuesto con su eje longitudinal  
10 no paralelo al eje longitudinal del segundo enlace del primer brazo. En esta realización el primer brazo no tiene ninguna singularidad interna en el espacio de trabajo. La rigidez con respecto a rotaciones de la plataforma sobre un eje perpendicular al plano que comprende la primera y segunda vía será igual en cualquier lugar del espacio de trabajo.

Según una realización de la invención, la distancia entre la junta interna del primer enlace y la junta interna del  
15 segundo enlace es más corta que la distancia entre la junta externa del primer enlace y la junta externa del segundo enlace. Las fuerzas en la disposición de enlace disminuyen conforme aumenta la distancia entre las juntas externas. Así, esta realización reduce las fuerzas en los enlaces del primer brazo.

Según una realización de la invención, las juntas internas del primer y del segundo enlace del primer brazo están  
20 dispuestas a una distancia la una de la otra en una dirección perpendicular a dicho primer plano. Por consiguiente, se logra un espacio de trabajo más grande puesto que se evitan las colisiones entre los enlaces y es así posible que la plataforma se mueva más cerca de la primera vía.

Según una realización de la invención, las juntas internas del primer y del segundo enlaces del primer brazo están  
25 dispuestas a lo largo de una línea común, la cual es perpendicular a dicho primer plano. Esta realización simplifica los cálculos cinemáticos durante el control del movimiento del robot.

Según una realización de la invención, el primer brazo comprende un tercer enlace que comprende una junta externa  
30 conectada con la plataforma y una junta interna conectada con el primer carro. El tercer enlace permite mantener un ángulo de inclinación constante de la plataforma durante el funcionamiento. Esto es ventajoso en varias aplicaciones para las que sea importante mantener la herramienta en un ángulo constante con respecto a una pieza de trabajo, por ejemplo durante el taladrado, rectificado, fresado, pulido, corte, pegado y soldadura en una pieza plana.

Según una realización de la invención, la junta interna del tercer enlace también está dispuesta a lo largo de dicha  
35 de línea. Esta realización simplifica adicionalmente los cálculos cinemáticos durante el control del movimiento del robot.

Según una realización de la invención, las juntas internas del segundo brazo están dispuestas a lo largo de una  
40 línea, la cual es paralela a dicha línea común a lo largo de la cual están dispuestas dichas juntas del primer brazo. Así, la plataforma es bloqueada en cuanto a su rotación sobre el eje x y el eje y, lo que significa que tendrá un ángulo constante de inclinación.

Según una realización de la invención, la junta interna del primer enlace y la junta interna del segundo enlace son  
45 una junta común. El número de juntas entonces se reduce, y se logra así un robot más barato.

Según una realización de la invención, uno de los enlaces está dotado de un mecanismo de enclavamiento que al  
50 ser activado evite que el enlace rote sobre su eje longitudinal. Preferiblemente, dicho dispositivo de enclavamiento está dispuesto para evitar que el enlace rote sobre su eje longitudinal cuando el robot pasa a través de una singularidad durante su reconfiguración. Esta realización evita que la plataforma se incline de manera incontrolada cuando el robot pasa por una singularidad durante la reconfiguración.

Según una realización de la invención, las dos juntas interna y externa de uno de los enlaces están dispuestas  
55 movibles solamente en dos grados de libertad, y dicho un enlace está dotado de un juego dispuesto para asumir movimientos rotatorios de menor importancia sobre el eje longitudinal del enlace. Esta realización también evita que la plataforma se incline de manera incontrolada cuando el robot pasa por una singularidad durante su reconfiguración.

Según una realización de la invención, el enlace del tercer brazo está dotado de una unidad de enclavamiento que  
60 tiene un estado bloqueado, en el cual el enlace está fijo con respecto a su junta interna, y un estado abierto, en el cual se permite moverse al enlace con respecto a su junta interna en una dirección a lo largo del eje longitudinal del enlace. Esta realización evita que la plataforma se mueva profundamente en la dirección z durante la reconfiguración del tercer brazo.

Según una realización de la invención, el enlace del tercer brazo está dispuesto con una longitud ajustable, y el  
65 tercer brazo incluye un actuador adaptado para controlar la longitud del enlace. Esta es una realización alternativa, que también evita que la plataforma se mueva profundamente en la dirección z durante la reconfiguración del tercer brazo.

Según una realización de la invención, uno de los enlaces del primer o del segundo brazo es dotado de un miembro  
de enclavamiento, que al ser activado evita que el enlace se mueva en una dirección perpendicular a un plano que pasa

## ES 2 303 131 T3

la primera y la segunda vías. Preferiblemente, el miembro de enclavamiento está dispuesto para impedir a una de las juntas de dicho enlace dotado del miembro de enclavamiento, de rotar sobre un eje en una dirección paralela a un plano que pasa la primeras y la segunda vías. Esta realización permite evitar que la plataforma se mueva de manera incontrolable cuando la unidad de enclavamiento del enlace del tercer brazo se suelta, especialmente cuando se monta el robot de una manera tal que el plano que pasa por la primera y la segunda vías sea perpendicular a la dirección de la gravedad.

Según una realización de la invención, los dos enlaces del segundo brazo tienen esencialmente la misma longitud y están dispuestos con sus ejes longitudinales en paralelo. Esta realización mantiene la plataforma bloqueada en rotación sobre al menos uno de los ejes x e y, lo cual significa que tendrá un ángulo constante de inclinación.

Según una realización de la invención al menos dos de los enlaces del primer brazo están dispuestos de tal modo que, al menos desde un punto de vista, están en paralelo. Preferiblemente, al menos dos de los enlaces del primer brazo tienen esencialmente la misma longitud. Esta realización mantiene la plataforma bloqueada en cuanto a su rotación sobre el eje x y el eje y, lo cual significa que tendrá un ángulo de inclinación constante.

Según una realización de la invención, el primer, el segundo y tercer enlaces están dispuestos de tal manera que, al menos desde un punto de vista, están en paralelo. Un robot de este tipo es fácil de construir.

Otro objeto de la invención es proporcionar un método para la reconfiguración de un robot industrial según la presente invención. Este objeto se logra con el método según lo definido en la reivindicación 20.

Según una realización de la invención, el método comprende desplazar el primer y el segundo carro el uno con respecto al otro hasta que el robot alcance dicha segunda posición, bloquear uno de los enlaces para impedir que rote sobre su eje longitudinal, mover el primer y el segundo carro hasta que el robot alcance dicha tercera posición, y mover al primer y segundo carro hasta que alcance dicha cuarta posición, y soltar dicho enclavamiento de uno de los enlaces de rotar sobre su eje longitudinal. Mover el primer y el segundo carros significa que o bien solamente se mueve el primer carro, o bien solamente se mueve el segundo carro, o bien se mueven tanto el primer como el segundo carros, o bien se mueven al menos uno del primer y el segundo carro, y el tercer carro. Esta realización evita que la plataforma se incline de manera incontrolada cuando el robot pasa a través de una singularidad durante su reconfiguración.

Según una realización de la invención, cuando el robot está en dicha primera posición, la junta interna del enlace del tercer brazo se coloca en un primer lado de un tercer plano perpendicular a la primera y a la segunda vías, y a pasar a través de la plataforma y seguirla continuamente, y el método comprende adicionalmente: mantener el enlace del tercer brazo en una relación fija a su junta interna hasta el robot haya pasado dicha tercera posición, y cuando el robot haya pasado dicha tercera posición, bloquear uno de los enlaces del primer o segundo brazo de de manera que no se mueva en una dirección perpendicular a un plano que pasa por la primera y la segunda vías, permitir que el enlace del tercer brazo se mueva con respecto a su junta interna en una dirección a lo largo de los ejes longitudinales del enlace, mover la junta interna del enlace del tercer brazo a dicho segundo lado de dicho tercer plano, bloquear el enlace del tercer brazo en una relación fija respecto a su junta interna, y soltar dicho enclavamiento de uno de los enlaces del primer o del segundo brazo de manera que se mueva en una dirección perpendicular a un plano que pasa por la primera y la segunda vías. Esta realización de la invención evita que la plataforma se mueva profundamente en la dirección z durante la reconfiguración del tercer brazo y también evita que la plataforma caiga debido a la gravedad cuando el enclavamiento del enlace del tercer brazo se suelta y el robot se monta con el mencionado plano perpendicular a la dirección de la gravedad.

Según una realización de la invención, los movimientos de al menos uno del primer y del segundo brazos son controlados por un servocontrol obediente durante el paso de dicha tercera posición del robot. Así, se reduce la demanda en cuanto a la exactitud del control durante el paso a través de la posición singular.

### Breve descripción de los dibujos

Ahora se explicará la invención más de cerca mediante la descripción de diferentes realizaciones de la invención y haciendo referencia a las figuras anexas:

La Fig. 1 muestra un diseño de la técnica anterior de un manipulador cinemático paralelo de tipo pórtico.

La Fig. 2 muestra el manipulador de la figura 1 en una vista desde arriba.

La Fig. 3 muestra un brazo de un manipulador según una primera realización de la invención.

La Fig. 4 muestra un brazo de un manipulador según una segunda realización de la invención.

La Fig. 5 muestra la configuración interna del brazo según la figura 4 cuando está montado en el manipulador.

La Fig. 6 muestra el manipulador de la figura 5 en dos configuraciones A y B diferentes.

La Fig. 7 muestra una puesta en práctica del manipulador de las figuras 5 y 6

## ES 2 303 131 T3

La Fig. 8a-d muestra mecanismos diferentes para bloquear los grados de libertad del manipulador y para limitar el espacio de trabajo.

La Fig. 9 muestra el manipulador de la figura 7 dotado de un dispositivo de enclavamiento que se utilizará cuando el robot pase a través de una singularidad durante su reconfiguración.

La Fig. 10 muestra una solución alternativa para bloquear la rotación de un enlace cuando pasa a través de una singularidad.

La Fig. 11 es un dibujo esquemático del manipulador de la figura 7.

La Fig. 12 muestra un manipulador según una tercera realización de la invención.

La Fig. 13 muestra una proyección del manipulador de la figura 12 sobre el plano  $y_w z_w$ .

La Fig. 14 muestra una proyección del manipulador de la figura 12 en el plano  $x_w y_w$ .

La Fig. 15 muestra una reconfiguración del manipulador de las figuras 12.14.

La Fig. 16 muestra un manipulador según una cuarta realización de la invención.

La Fig. 17 muestra un manipulador según una quinta realización de la invención.

La Fig. 18 muestra una disposición especial para evitar colisiones entre un contrapeso de equilibrio y las vías.

La Fig. 19 muestra un ejemplo de un uso conveniente para un manipulador según la invención.

La fig. 20 muestra un manipulador según una sexta realización de la invención.

### 30 Descripción detallada de las realizaciones preferidas de la invención

La figura 1 muestra un diseño de la técnica anterior de un tipo de manipulador cinemático paralelo de tipo pórtico (PKM) que tiene un espacio de trabajo más bien grande, pero el cual no puede hacer una reconfiguración completa para trabajar en ambas direcciones entre las vías lineales. El PKM comprende dos vías 1 y 2, las cuales definen juntas un plano paralelo al plano  $x_w y_w$  del sistema de coordenadas universales mostrado en la figura. En la vía 1 hay un carro 4, que es actuado para moverse a lo largo de la vía 1, por ejemplo por un módulo lineal de tornillo de bola impulsado por motor, una transmisión de banda impulsada por motor, un accionamiento de cremallera y piñón, o un motor lineal de accionamiento directo. De la misma manera, se acciona un carro 5 a lo largo de una vía 2, y un carro 6 a lo largo de una vía 3. La vía 3 es paralela a las vías 1 y 2 y forma una geometría triangular en el plano  $y_w z_w$  junto con las vías 1 y 2. Cada carro está conectado con una plataforma actuada 16 por medio de un brazo, el carro 4 con un primer brazo 7, el carro 5 con un segundo brazo 8 y el carro 6 con un tercer brazo 9. El primer brazo 7 consiste en tres enlaces paralelos 10, 11, 12. Estos enlaces tienen la misma longitud y en cada extremo de los enlaces hay una junta. Así, el enlace 10 tiene una junta interna 10a y una junta externa 10b, el enlace 11 tiene una junta interna 11a y una junta externa 11b, y el enlace 12 tiene una junta interna 12a y una junta externa 12b. El brazo 8 consiste en dos enlaces paralelos 13 y 14 con longitud igual y de la misma manera que para el brazo 7 estos enlaces tienen una junta interna y externos, 13a y 13b para el enlace 13 y 14a y 14b para el enlace 14. Finalmente, el brazo 9 consiste en solamente un enlace 15 con una junta interna 15a y una junta externa 15b: Para un montaje mecánico no redundante de la estructura del brazo del manipulador al menos una de las juntas interna y externa para cada enlace debe tener tres grados de libertad, en lo sucesivo designados por DOF, mientras que la otra junta debe tener al menos 2 DOF. Para reducir al mínimo el peso de la plataforma actuada cuando se usan juntas universales, es una ventaja para tener 2 DOF para las juntas externas y 3 DOF para las juntas internas.

La figura 2 muestra el manipulador de la figura 1 desde arriba con las vías 1 y 2 que forman un plano paralelo al plano  $x_w y_w$ . Esta figura se incluye para mostrar el espacio de trabajo para la plataforma actuada en el plano  $x_w y_w$ . El espacio de trabajo está limitado por la línea de trazos 17a y, como puede verse, casi la mitad del espacio entre las vías 1 y 2 no se puede alcanzar por la plataforma actuada 16. Para poder alcanzar este espacio es necesaria una reconfiguración de la estructura del brazo, lo cual significa que los carros estén actuados de una manera tal que los brazos vayan de la manipulación de la plataforma actuada 16 a la derecha de los carros en la figura a la izquierda de los carros en la figura.

Para hacer la reconfiguración posible, los enlaces 11 y 12 en la figura 2 se debe montar en el carro 4 de otra manera. Así, la figura 3 muestra esquemáticamente los enlaces 11 y 12 con un montaje en la plataforma 4 de una manera tal que una línea a través de los centros de las juntas internas 11a y 12a sea paralela a la vía 1. El brazo 7 está dispuesto rotativo de tal manera que la plataforma 16 se pueda desplazar entre los lados opuestos de un plano a través del carro 4 y el perpendicular a las vías 1 y 2. Con este montaje los enlaces del brazo 7 pueden hacer oscilar la plataforma 16 a ambos lados del carro 4, como se da a título de ejemplo con la plataforma 16 en una configuración derecha en A y B y en una configuración izquierda en C. El brazo 7 tendrá en estas 3 posiciones las configuraciones internas 7A, 7B y 7C. Sin embargo, un problema con este diseño es que las configuraciones internas 7A y 7C están cerca de una

## ES 2 303 131 T3

singularidad interna cuando coinciden los enlaces 11 y 12. Estas configuraciones internas darán al manipulador una rigidez muy baja y con un requisito de 30 grados o más entre el eje longitudinal de los enlaces 11 y 12 en lo respecto a la línea a través de las juntas 11a y 12a para alta rigidez, el espacio de trabajo será limitado y cubrirá solamente la parte inferior entre las vías 1 y 2 de la figura 2.

5 La figura 4 muestra la solución al problema con el diseño de enlaces paralelo en la figura 3. Aquí la plataforma actuada 16 está conectada al carro 4 con los enlaces 11 y 12 formando una figura triangular según se ve en el plano  $x_w y_w$ . El primer enlace 11 está dispuesto con su eje longitudinal no paralelo al eje longitudinal del segundo enlace 12. Con esta configuración de enlaces la configuración interna del brazo será la misma independientemente de donde se coloque en el espacio de trabajo la plataforma actuada 16, lo cual quiere decir que la rigidez con respecto a las rotaciones de la plataforma alrededor del eje  $z_w$  será igual en cualquier lugar del espacio de trabajo entre las vías 1 y 2. En la figura, las juntas 11a y 12a coincidan, pero se permite una desviación pequeña entre ellas en el plano  $x_w y_w$ , aun cuando los cálculos cinemáticos sean entonces algo más complicados y el espacio de trabajo un poco reducido. Una diferencia de la figura 3 es que ahora se hará rotar a la plataforma actuada cuando se manipule en el espacio de trabajo. Sin embargo, esto es un problema de menor importancia puesto que la plataforma tendrá una muñeca con al menos un grado de libertad, con lo cual esta rotación de la plataforma será compensada por una rotación del eje de la muñeca en sentido contrario.

20 La figura 5 muestra la configuración interna del brazo 7 según la figura 4 cuando está montado en el manipulador. Ahora se da a la plataforma actuada 16 una forma de L con las juntas 11b y 12b montadas en la parte horizontal de la L y la junta 10b montados en la parte vertical de la plataforma en forma de L. El enlace 10 se monta en relación con los enlaces 11 y 12 de una manera tal que el ángulo de inclinación de la plataforma actuada sea constante a lo largo de todo el espacio de trabajo. Esto significa que si por ejemplo se monta una herramienta de taladrado en la plataforma con el eje  $z_w$  como dirección de taladrado, entonces se hará el taladrado en esta dirección en todo el espacio de trabajo tanto en la configuración derecha como en la izquierda del manipulador. Para obtener este ángulo de inclinación independientemente de la posición en el diseño de la figura 5, el enlace 10 es paralelo al enlace 11 y los enlaces 10 y 11 tienen la misma longitud. Por otra parte, una línea a través de las juntas 10b y 11b, cuya línea es paralela con una línea a través de las juntas 10a y 11a + 12a, debe ser paralela a una línea a través de las juntas 13b y 14b y puesto que los enlaces 13 y 14 son paralelos y de la misma longitud, la línea a través de las juntas 10b y 11b también será paralelo a una línea a través de las juntas 13a y 14a.

35 El enlace 12 tiene la responsabilidad de asumir los esfuerzos de los pares de torsión alrededor del eje  $z_w$  de la plataforma actuada 16 y su montaje en la plataforma no es crítico. Sin embargo, la distancia entre la junta 12b y la línea a través de las juntas 10b y 11b debe ser tan grande como sea posible para reducir al mínimo la fuerza axial longitudinal en el enlace 12, pero esta distancia hará simultáneamente que la plataforma actuada sea más amplia, lo cual reducirá la rigidez de la plataforma y por otra parte reducirá el espacio de trabajo puesto que la plataforma 16 necesitará un espacio mayor entre las vías lineales 1 y 2 para evitar para chocar con éstas.

40 Si la distancia entre las juntas internas 11a, 12a es más corta que la distancia entre las juntas externas 11b, 12b de los enlaces 11 y 12, las fuerzas en los enlaces disminuyen. Las fuerzas en la disposición de enlace disminuyen conforme aumenta la distancia entre las juntas exteriores, pero la plataforma aumentará simultáneamente de tamaño y reducirá el espacio de trabajo entre la primera y la segunda vías 1, 2. Así, dependiendo de la aplicación, se usa una distancia conveniente entre las juntas externas.

45 El problema de colisión entre la plataforma actuada 16 y la vía 1 es evidente en la figura 6. Aquí se muestran los brazos 7 y 8 junto con la plataforma en una vista paralela al plano  $x_w y_w$ . En la configuración A del manipulador puede verse cómo el movimiento de la plataforma actuada es limitado en la dirección  $y_w$  por la colisión entre la junta externa 12b y la vía 1. Sin embargo, en la configuración opuesta B, este problema no ocurre y por consiguiente el espacio de trabajo será más grande en la dirección  $y_w$ , cuando el robot trabaja a la izquierda de la figura (configuración B) que a la derecha (configuración A).

50 La figura 7 muestra una puesta en práctica del manipulador de las figuras 5 y 6. En la figura 7a una de las juntas universales se representa con tres ejes de rotación 20, 21 y 22. El eje 20 viene dado por un cojinete 12, el eje 21 por dos cojinetes en línea 18, y el eje 22 por un cojinete 19, el cual se monta de una manera tal que el eje 22 coincida con el eje de simetría del enlace conectado a la junta. Para el mejor funcionamiento, los ejes 20, 21 y 22 deben ser ortogonales entre sí. Para las juntas que necesiten solamente 2 DOF, no se utiliza. El cojinete 19. En la figura 7b se usa el diseño de cojinete de la figura 7a para todas las juntas del manipulador. Como antes, el manipulador es actuado por los tres carros 4, 5 y 6, que se conducen en tres vías paralelas 1, 2, 3, las cuales forman un triángulo en el plano  $y_w z_w$ . El brazo 7 consiste en tres enlaces 10, 11 y 12, con juntas internas 10a, 11a 12a y juntas externas 10b, 11b y 12b. El eje 20 de la figura 7a coincide para los juntas interiores 10a, 11a y 12a, formando un eje común 23 en la dirección  $z_w$ . Los enlaces 10 y 11 son paralelos y de la misma longitud y el enlace 12 forma un ángulo respecto a los enlaces 10 y 11 según lo visto desde arriba en la figura o lo descrito con más precisión, en la proyección del brazo 7 sobre el plano  $x_w y_w$ . Cuando el brazo 7 se proyecta en un plano paralelo al eje  $z_w$ , como por ejemplo el plano  $y_w z_w$ , los enlaces 10 y 11 deben ser paralelos, pero el enlace 12 no necesita ser paralelo a los enlaces 10 y 11. Por otra parte, el enlace 12 no necesita tener la misma longitud que los enlaces 10 y 11. Según lo descrito anteriormente, un requisito previo para esto es que el eje 23 sea paralelo a la línea que pasa a través de los centros de las juntas 10a y 11a, la línea a través de las juntas 13b y 14b y la línea a través de las juntas 13a y 14a.

## ES 2 303 131 T3

Debería ser destacado que la junta 12b podría tener una desviación tanto en la dirección  $x_w$  como en la dirección  $y_w$ , y con una desviación suficientemente grande en cualquiera de estas direcciones, también una desviación en la dirección  $y_w$ . Sin embargo, una desviación, por ejemplo en la dirección  $x_w$ , dará una rotación más complicada a la de la plataforma 16, haciendo los cálculos cinemáticos más difíciles y con compensaciones mayores se reducirá el espacio de trabajo del robot. En la figura 7 también se muestran limitadores 28, 29 y 30 de eje. Estos limitadores pararán el manipulador cuando alcance los límites de su espacio de trabajo. Otro detalle está constituido por las disposiciones de longitud de enlace ajustable para el enlace 15. Esto se pone en ejecución con un cojinete lineal 26, que puede ser bloqueado empujando el cilindro 24 en el agujero 25 del enlace. Como una alternativa, se puede utilizar un mecanismo de rotura mecánica para bloquear los el cojinete lineal. Se puede considerar otro mecanismo de enclavamiento para la junta 10a, en el cual el par de cojinetes con eje horizontal se puede bloquear por un cilindro 27. Puede también verse también que ambas juntas 10a y 10b para el enlace 10 tienen solamente 2 DOF. Se ponen en ejecución todas estas disposiciones especiales para ser capaces de hacer una transición controlada del manipulador entre sus dos configuraciones.

La figura 8a-d muestra más detalladamente los mecanismos para enclavar los grados de libertad y para limitar el espacio de trabajo del manipulador. Así, la figura 8a muestra que el enlace 15 está provisto de una unidad de enclavamiento 24, 26 que tiene un estado bloqueado, en el cual el enlace 15 es fijo con respecto a su junta interna 15a, y un estado abierto, en el cual se permite al enlace moverse con respecto a la junta 15a en una dirección a lo largo del eje longitudinal del enlace 15. La unidad de enclavamiento comprende un cojinete lineal 26 que permite que el enlace 15 se deslice en relación a la junta 15a, con la intención de adaptar la longitud del enlace cuando el carro 6 se mueve al cambio la configuración del tercer brazo 9. Durante el funcionamiento normal el enlace 15 es fijo respecto a la junta 15a, lo cual se hace presionando un cilindro 24 en un taladro 25 del cojinete 26. Por supuesto, son posibles otros varios mecanismos de enclavamiento, por ejemplo roturas mecánicas, embragues hidráulicos, etc.

La Figura 8b muestra un concepto mecánico de tope de extremo para la junta 15b. Cuando se hace girar un cojinete 32 a lo largo de un eje 33, se moverá un eje 31 hacia arriba y hacia abajo y se encajará un tope 29 de extremo cuando el eje 31 se haya movido a una posición en la cual el eje 31 golpee el tope 29 de extremo. Se puede utilizar un tope de extremo correspondiente en el otro lado de la junta 15b para limitar la carrera de trabajo para el cojinete 32 en ambas direcciones de rotación. El propósito de este tope de extremo es establecer restricciones para el movimiento del tercer carro 6 y se puede utilizar también para indicar el ángulo del enlace 15 cuando este enlace se controla para cambiar su configuración. En la figura 8c se muestra un mecanismo correspondiente de tope de extremo. En este caso, la carrera de trabajo de un cojinete 36 cuando gira alrededor de un eje 37 está limitada por un tope 30 de extremo. Con este tope 30 de extremo, se supervisará el ángulo entre los brazos 7 y 8. Cuando estos brazos sean controlados para cambiar su configuración, se puede utilizar este tope 30 de extremo para supervisar la transferencia de configuración y para indicar cuando ha alcanzado el robot su singularidad cuando los brazos 7 y 8 sean paralelos. Este tope 30 de extremo se podría montar también en la junta 13.

La figura 8d muestra un miembro de enclavamiento para bloquear la junta 10b que comprende un par de cojinetes 41. El miembro de enclavamiento comprende un cilindro 27 y una pestaña 28. Aquí el par de cojinetes 41 se bloquea para no pasar la pestaña 28 por medio del cilindro 27, el cual se inserta en un taladro 38 en uno de los cojinetes 41. Se hace esto antes de que el cojinete lineal 26 de la figura 8a se suelte para garantizar que la plataforma 16 no se moverá en una dirección perpendicular a un plano que pasa por la primera y la segunda vías cuando se suelta entonces el cojinete lineal 26. Cuando se hace esta suelta, y el cilindro 27 se ha insertado en el taladro 38, el cilindro 27 impedirá que el par de cojinetes 41 pase la pestaña 28 y el manipulador será bloqueado en la dirección  $z_w$ . En el funcionamiento normal, no se utilizará el cilindro 27 para bloquear el par de cojinetes 41.

La figura 8d muestra también un espacio de trabajo que limita el mecanismo que comprende los topes 39 y 40 de extremo montados en uno de los cojinetes 41, que trabaja de la misma manera que el miembro de enclavamiento 27, 38. Así, el par de cojinetes 41 que gira alrededor de un eje 42, es limitado por los topes de extremo 39 y 40. Cuando el brazo 7 se mueve hacia abajo (véase la figura 7), el tope 39 de extremo golpeará eventualmente la pestaña 28, y el movimiento será parado, y cuando el brazo 7 se mueva hacia arriba, serán parado cuando el tope 40 de extremo golpee la pestaña 28. La pestaña 28 está fijada al cojinete interno entre el par 41 de cojinetes y los topes 39 y 40 de extremo se montan en la parte rotativa externa del cojinete 41. Los topes 39 y 40 de extremo podrían ser topes mecánicos de extremo o interruptores eléctricos. Este mecanismo de tope de extremo previene que el manipulador caiga cuando se suelte la unidad de enclavamiento 24, 26 de la junta 15a y se puede integrar también en cualquiera de las juntas 11a, 12a, 10b, 11b, 12b, 13a, 14a, 13b o 14b.

Como se puede ver en la figura 7, el enlace 10 tiene una junta de 2 DOF tanto para la junta interna 10a como para la junta externa 10b. La razón de esto es que cuando la estructura del enlace pasa la singularidad durante una reconfiguración, después la plataforma 16 ganará un DOF y se inclinará sin ningún control si todos los enlaces tienen al menos una junta con 3 DOF. Sin embargo, si un enlace tiene solamente 2 DOF en sus dos juntas, entonces este enlace puede transmitir el par de torsión al carro e impedir la inclinación incontrolada de la plataforma 16. Sin embargo, tener 2 juntas de DOF en ambos extremos de un enlace dará un montaje mecánico redundante y se formarán fuerzas y pares de torsión internos en la estructura cuando sea montada. Cuando se montado un manipulador muy rígido para una aplicación tal como la retirada de materiales, la tensión en los componentes puede ser muy alta, conduciendo a grandes niveles de rozamiento y a una reducción en el tiempo de vida. En la figura 9 se puede encontrar una solución a este problema.

## ES 2 303 131 T3

La figura 9a muestra el mismo manipulador que en la figura 7 y la figura 9b muestra el enlace 10 provisto de un juego para asumir la pequeña rotación alrededor del eje central del enlace 10 que se produce debido a pequeños errores de geometría en los componentes del brazo cuando éstos están montados en una estructura completa de brazo. Esta pequeña rotación alrededor del eje central 10 del enlace 10 desencadenará también la tensión en la estructura del brazo debido a los cambios de temperatura. Así, el enlace 10a se divide en dos partes de enlace 10c y 10d y entre estas piezas del enlace hay un cojinete 44 con su eje de la rotación que coincide con el eje central 20 de las piezas 10c y 10d del enlace.

La figura 9c muestra la disposición del cojinete con más detalle. La pieza 10c del enlace tiene una sección 43 de mayor diámetro con un dispositivo de enclavamiento que tiene dos toques 45a y 45b de extremo muy cerca el uno del otro. Una parte rotatoria externa 25 del cojinete 44 está conectada a la sección 43 con un puente 47, lo cual significa que la parte 10d de enlace puede girar con respecto a la parte 10c de enlace. Sin embargo, esta limitado en rotación por los toques de extremo 45a y 45b, puesto que un cilindro 46 montado en la parte 10d del enlace está restringido entre los toques de extremo 45a y 45b, formando así un juego de rotación entre las partes de enlace 10c y 10d. Este juego se diseña para asumir las rotaciones relativas de la pieza de enlace que se necesitan para compensar para los errores de geometría en la estructura del brazo. Cuando la estructura del brazo está en su singularidad, el cilindro 46 será movido bien hacia el tope de extremo 45a o bien hacia el 45b dependiendo de la dirección del esfuerzo de torsión causado por la gravedad cuando el robot comienza a inclinarse en la singularidad. En la figura esta disposición se sitúa casi en el centro del primer brazo 9 por razones de claridad, pero en un buen diseño debe estar tan cerca como sea posible de la junta interna 10a.

La figura 10 muestra una solución alternativa para bloquear la rotación de un enlace cuando pasa por una singularidad y bloquear una junta para evitar que la plataforma actuada caiga cuando se suelte el cojinete lineal 26. Así, en este caso se utilizan los frenos de disco mecánicos 48, 49 y 54, 55. Cuando la estructura del brazo pasa por la singularidad, un dispositivo de sujeción 49 se sujeta al disco 48 del freno, bloqueando la parte de enlace 10c a la parte de enlace 10d. El dispositivo de sujeción 49 se monta en un cojinete 51 con un eje de rotación 54. La parte principal del cojinete 51 se monta en un cojinete 52 con una línea central de rotación 53. La parte principal del cojinete 52 se monta en la plataforma actuada 16. Cuando la estructura del brazo haya pasado la singularidad, se suelta el freno 48, 49 y el manipulador trabaja sin ninguna redundancia de montaje, puesto que las partes 10c y 10d de enlace pueden rotar entonces la una respecto a la otra debido al cojinete 61.

De una manera similar, se utiliza un freno de disco 54, 55 para sostener la plataforma actuada cuando el primer brazo 9 se mueve a partir de una configuración a otra durante lo cual se suelta el cojinete lineal 26. La junta 10a comprende dos cojinetes 56 y 59. Se monta un disco 54 en la pieza rotatoria secundaria del cojinete 56 y rotará así alrededor de un eje central 58 de rotación del cojinete 56. Antes de que se suelte el cojinete lineal 26, se activa un dispositivo de sujeción 55 y se enclava cojinete 56. El dispositivo de fijación 55 se monta en un cilindro hueco 60, el cual se monta a su vez en una parte rotatoria (externa) secundaria del cojinete 59. El cojinete 59 tiene un eje de rotación 57 y su parte interna se monta en un carro 4. Debería mencionarse que de la misma manera que se usa en esta figura la sujeción de discos de frenado rotatorios, se puede utilizar una hoja de frenado rectangular lineal para el cojinete lineal 26 a fin de sujetar el enlace 15 a la parte 26 de cojinete.

La figura 11 es un dibujo esquemático de la estructura del manipulador de la figura 7, a utilizar para describir las posibilidades cinemáticas y la reconfiguración del sistema del brazo. Las juntas están aquí simplemente dibujadas como círculos y no se muestran ningunas disposiciones de enclavamiento. Cinemáticamente, la línea 23 a través de las juntas internas 10a y 11a, la línea 62 a través de las juntas externas 10b y 11b, la línea 64 a través de las juntas internas 13a y 14a, y la línea 63 a través de las juntas externas 13b y 14b deberían ser todas ellas paralelas para tener un ángulo constante de inclinación de la plataforma actuada a lo largo de todo el espacio de trabajo. Con estas relaciones cinemáticas entre las líneas 23, 62, 63 y 64 el montaje del enlace 12 no es crítico, precisamente forma un ángulo con respecto a los enlaces 10 y 11 cuando el primer brazo 7 se proyecta en un plano paralelo al plano definido por las vías 1 y 2 (en la figura este plano es también paralelo al plano  $x_w y_w$ ).

Según lo mostrado en la figura 6, la junta 12b chocará con la vía 1 cuando el sistema del brazo se manipule en la dirección derecha de la figura, pero no cuando se manipule en la dirección izquierda. Esto da un espacio de trabajo menor en la dirección  $y_w$  cuando el robot funciona en la dirección derecha. Para obtener la misma anchura  $y_w$  del espacio de trabajo en ambas direcciones, los enlaces 11 y 12 en el primer brazo 7 se pueden montar como en la figura 12. Ahora ambas juntas 11b y 12b tienen una desviación con respecto a la línea 62, que pasa a través de la junta 10b y es paralela a las líneas 23, 63 y 64. Sin embargo, el montaje del enlace 12 es ahora crítico para mantener al ángulo constante de inclinación de la plataforma actuada 16.

Los requisitos en cuanto al montaje de los enlaces 11 y 12 que usan la estructura de brazo en la figura 12 se definen en la figura 13. La figura 13 muestra por tanto una proyección del manipulador de la figura 12 en el plano  $y_w z_w$  y entonces es necesario que las proyecciones de los enlaces 10, 11 y 12 del primer brazo 7 sean todas paralelas según lo visto en la figura. En términos más generales, las proyecciones de los enlaces 10, 11 y 12 se hacen en un plano que es paralelo a una línea a través de las juntas 13b y 14b. Otro requisito para un ángulo de inclinación constante de la plataforma actuada 16 es que el plano definido por las juntas 10b, 11b y 12b esté en un plano común, el cual sea paralelo a la línea a través de las juntas 13b y 14b (la línea 63 de la figura 12).

## ES 2 303 131 T3

La figura 14 muestra una proyección de la estructura del brazo de la figura 12 en el plano  $x_w y_w$  y como se puede ver ambos enlaces 11 y 12 forman un ángulo respecto al enlace 10 en esta proyección. Por otra parte, las juntas 10b, 11b y 12b forman una línea en esta proyección. En términos más generales, esta proyección se hace en un plano que es perpendicular a la línea a través de las juntas 13b y 14b (la línea 63 en la figura 12).

La figura 15 ilustra la reconfiguración según se ve con una proyección en el plano  $x_w y_w$ . Los diferentes componentes proyectados en este plano se definen en la Pos1 de la plataforma actuada y se pueden comparar con los componentes descritos para la figura 14. La primera vía 1 y la segunda vía 2 definen un primer plano C en el plano  $x_w y_w$ . El primer brazo 8 es rotativo sobre el eje 23, el cual es perpendicular al primer plano C. El segundo brazo 7 es rotativo sobre el eje 64, el cual es perpendicular al primer plano C. El primer y el segundo brazo están dispuestos rotativos de tal manera que la plataforma 16 es desplazable entre los lados opuestos de un segundo plano D, que es perpendicular al primer plano C y pasa a través del primer y el segundo carro 4, 5. El segundo plano D sigue continuamente los carros 4, 5. Así pues, la dirección del plano D cambia debido a las posiciones de los carros 4, 5. El primer y el segundo brazo 7, 8 están dispuestos rotativos de tal manera que la plataforma 16 es movable entre los lados opuestos del segundo plano D. Se define un tercer plano E perpendicular a la primera y a la segunda vía 1, 2, y a través de la plataforma 16. El tercer plano E sigue continuamente la plataforma 16. Así pues, la posición del tercer plano respecto a las vías 1, 2 cambia debido a la posición de la plataforma.

En una primera posición, Pos1, los brazos 7 y 8 y la plataforma 16 están todos a la izquierda de los carros 4 y 5. En la primera posición el primer y segundo carro se colocan ambos a la derecha de la plataforma y por tanto a la derecha del tercer plano E. Después de actuar el primer carro 5 a la derecha a lo largo de la vía 2, la plataforma 16 vendrá por encima del carro 4 como se muestra en Pos2 y yendo más a la derecha con el carro 5 pondrá la plataforma 16 entre los carros 4 y 5. En una tercera posición, Pos3, los brazos 7 y 8 han traído la estructura a una singularidad, y se recomienda lo indicado a continuación para realizar el paso de la singularidad y para proceder hacia una cuarta posición, Pos4:

- 1) Se mueve el robot a una posición cerca de la posición singular. Se cambia el modo de control de la actuación de uno de los carros 4 y 5 al modo de control obediente, lo cual significa que el carro en cuestión se moverá según sea controlado por un resorte y un amortiguador cuando esté sometido a una fuerza externa. Cuando se activa el modo de control obediente, el sistema del brazo cederá algo y para evitar esto, por ejemplo se puede activar el freno 54, 55 de la figura 10, o el mecanismo de enclavamiento 27, 38 de la figura 8d. Esto puede ser necesario si en vez de usar el control obediente se hace una desactivación del control.
- 2) se bloquea uno de los enlaces para que no rote sobre sus ejes longitudinales, por ejemplo con el freno 48, 49 de la figura 10, si se utiliza este concepto. Si se utiliza el concepto con una disposición especial de cojinete según la figura 9, se hará automáticamente el enclavamiento de un grado de libertad.
- 3) Se hace correr el carro 6 del tercer brazo, no mostrado en la figura, véase en su lugar la figura 13, para mover el primer y el segundo brazos 7 y 8 a través de la singularidad en la Pos3.
- 4) Se suelta dicho enclavamiento de uno de los enlaces para rotar sobre sus ejes longitudinales. Se suelta el freno 48, 49 si se utiliza este concepto. Si se utiliza el concepto con un arreglo especial del cojinete según la figura 9, se soltará automáticamente el enclavamiento con un grado de libertad.
- 5) Se reinicia el control ordinario de la posición del carro, para el cual se cambió anteriormente en 1 el modo de control.
- 6) Se suelta el freno 54, 55 de la figura 10 o el mecanismo de enclavamiento 27, 38 de la figura 8d si éstos fueron bloqueados según 1) para evitar que el sistema de brazo cediera cuando se utilizó el control obediente para uno de los carros 4 y 5.  
Ahora el carro 6 está en el lado incorrecto de la plataforma 16 y por tanto es necesario mover el carro 6 devolviéndolo al otro lado. Entonces, sin embargo, la plataforma 16 será manipulada fuertemente hacia abajo y si hay un objeto en el espacio de trabajo, puede ocurrir una colisión. Para evitar esto, se permite que el enlace 15 del tercer brazo se mueva con respecto a su junta interna en una dirección a lo largo de los ejes longitudinales del enlace.
- 7) Se bloquea uno de los enlaces del primer o del segundo brazo para que no se mueva en una dirección perpendicular a un plano que pasa por la primera y la segunda vías, por ejemplo activando el freno 54, 55 de la figura 10, o el mecanismo de enclavamiento 27, 38 de la figura 8d.
- 8) Se permite que el enlace 15 se mueva con respecto a su junta interna 15a, por ejemplo soltando la unidad de enclavamiento 24, 25 de la figura 8a.
- 9) Se mueve el carro 6 al otro lado de la plataforma actuada 16.
- 10) Se bloquea la unidad de enclavamiento 24, 25 en la figura 8a. Esto se debe hacer en una posición exacta del carro 6 o se conmuta la actuación del carro 6 al control obediente y el mecanismo de enclavamiento bloquea el enlace 15 en una posición de sujeción de precisión.

## ES 2 303 131 T3

11) Se suelta dicho enclavamiento de uno de los enlaces del primer o del segundo brazo para que se mueva en una dirección perpendicular a un plano que pasa por la primera y la segunda vía, soltando el freno 54, 55 de la figura 10 o el mecanismo de enclavamiento 27, 38 de la figura 8d.

5 12) Se mueven al primer y el segundo carro 4, 5 el uno con respecto al otro, hasta el robot alcanza una quinta posición, Pos5 en la cual tanto el primer como el segundo carro se colocan ambos en el lado izquierdo del tercer plano E que pasa a través de la plataforma,

10 Las actividades 1-12 anteriores se pueden controlar para que sean muy rápidas pero la precisión y la rigidez del manipulador no se mantendrán durante el paso de la singularidad en la Pos3. La figura 15 muestra también los brazos 7 y 8 para las posiciones Pos4 y Pos5 de la plataforma y como puede verse la plataforma puede moverse entre ambas vías 1 y 2 y en el exterior en los extremos de las vías. Esto significa que este manipulador tendrá un espacio de trabajo mayor en relación con el tamaño del manipulador que un robot convencional de pórtico con cinemática en serie. El espacio de trabajo es mostrado por la línea de trazo discontinuo 17b.

15 Una forma de conseguir librarse del problema de colisión mostrado en la figura 6 y que fue solucionado hasta un cierto grado con el diseño de la plataforma de la figura 13, es utilizar los brazos en los carros como se ve en la figura 16. En la figura, los carros 5 y 5 tienen unos brazos 4a y 5a, mientras que el carro 6 no necesita ningún brazo. Simultáneamente, las vías 1, 2 y 3 se han montado cercanas unas a otras. Ahora no hay vías 1 y 2 que choquen con la plataforma 16, y los brazos 7 y 8 pueden oscilar alejados en las direcciones más y menos  $y_w$ . Con los brazos 4a y 5a del carro será posible también configurar de nuevo el manipulador incluso si las longitudes de los brazos 4a y 5a de los carros son mayores que la distancia más corta entre las líneas 23 y 64. Este diseño del manipulador no es tan rígido como los manipuladores mostrados hasta ahora. Esto depende del hecho de que los brazos 4a y 5a del carro se doblarán en respuesta a las fuerzas de los brazos 7 y 8. Este doblado también dará problemas de rigidez para los cojinetes lineales entre los carros 4 y 5 y las vías sobre las que éstos se montan.

20 Hasta ahora, el enlace 15 ha sido manipulado por un carro 6 en una vía 3 paralela a las vías 1 y 2, y para configurar de nuevo el enlace 15a fueron introducidos un cojinete lineal 26 y un mecanismo de enclavamiento 24, 25. Para librarse de esta disposición se puede usar la solución de acuerdo con la figura 17. Aquí, se integra un actuador lineal en el enlace 15. De este modo, el enlace 15 comprende una porción 15c montada en el carro 5 con la junta 15a y una segunda parte 15d montada en la plataforma actuada con la junta 15b. Las partes 15c y 15d son actuadas para moverse la una con respecto a la otra para controlar la distancia entre las juntas 15a y 15b. Para poder hacer una reconfiguración de los brazos 7 y 8 es necesaria una distancia  $DX$  en la dirección  $x_x$ , entre las juntas 15a y 13a.

25 Para poder realizar la reconfiguración 55 y simultáneamente tener un equilibrado del sistema del brazo, es necesaria una disposición especial para evitar colisiones entre un contrapeso de equilibrio y las vías. Así, la figura 18 muestra cómo un contrapeso de equilibrio 67 en la palanca 66 se conectado con el enlace 11 a través de una caja de engranajes de una etapa con unos engranajes 65a y 65b. Con esta disposición, el peso 67 se moverá hacia arriba cuando la plataforma 16 se mueva hacia abajo y viceversa. Por supuesto, se pueden también utilizar mecanismos de resorte se para el equilibrado, pero es difícil obtener la misma exactitud de compensación con un sistema basado en resorte de equilibrio en sentido contrario.

30 Hay muchas aplicaciones para el manipulador cinemático paralelo con funcionalidad de reconfiguración descrito en esta solicitud de patente. Son ejemplos el escariado, taladrado, pulido, fresado, eliminación de cordones, eliminación de rebabas, manipulación de materiales, montaje, desmontaje, corte por láser, mediciones y cuidado de máquinas. La figura 19 muestra un ejemplo de una aplicación potencial. Aquí las vías 1, 2 y 3 son verticales y los manipuladores 68 y 69 comprenden las estructuras triangulares de soporte montadas en las bases 73, que son móviles con cojinetes o ruedas de aire. En esta aplicación, las estructuras de soporte se sujetan al accesorio 70 de objeto por medio de mecanismos de sujeción 72. Después de sujetar, se puede mover la plataforma actuada 16 a los puntos de calibración 74 en el accesorio o en el propio objeto 71 para calibrar el manipulador al accesorio y al objeto. En la figura, dos manipuladores 68 y 69 trabajan enfrente el uno al otro a cada lado del objeto 71. Por ejemplo el manipulador 69 taladra en alerones de un avión, mientras que el manipulador 68 tiene una herramienta para contrarrestar las fuerzas causadas por el proceso de taladrado. El sistema del brazo de los robots puede por ejemplo al principio taladrar agujeros cuando está en una configuración en la que la plataforma actuada trabaja hacia arriba y luego perforar agujeros cuando la plataforma trabaja hacia abajo, después de una reconfiguración. Algunas de las ventajas de usar este tipo de manipulador son: peso ligero, costo bajo, alta rigidez, especialmente con los mecanismos de sujeción 72, facilidad de desplazamiento de uso adonde se necesite, seguridad puesto que el espacio de trabajo está dentro de la estructura de soporte para las vías, alta precisión, y puede alcanzar una gran rapidez debido a una masa móvil baja.

35 El robot según la invención comprende una unidad de control que tiene a memoria, uno o varios procesadores y otros equipos necesarios para controlar el movimiento del robot. La unidad de control comprende un software para realizar todas las etapas mencionadas previamente para realizar la reconfiguración del robot, es decir para mover la plataforma y los enlaces del primer y del segundo brazos entre los lados opuestos del segundo plano que pasa a través del primer y del segundo carros 4, 5.

40 La figura 20 muestra unas estructuras alternativas de enlace de los brazos 7 y 9, que también hacen posible la reconfiguración del robot. El enlace 10 se ha movido aquí desde el brazo 7 al brazo 9 y es paralelo al enlace 15 y tiene la misma longitud que el enlace 15. Debería observarse que para limitar la totalidad de los 6 DOF de la plataforma

## ES 2 303 131 T3

sólo con las fuerzas axiales en los seis enlaces, hay restricciones en el montaje de las juntas en el bastidor 16 de la plataforma. Se define una línea 75 como que pasa por los centros cinemáticos de las juntas 11b y 12b, una línea 76 que pasa por los centros de las juntas 13b y 14b, una línea 77 que pasa por los centros de las juntas 10b y 15b, y finalmente una línea 78 que pasa por los centros de las juntas 10a y 15a. Las líneas 77 y 78 son paralelas aun cuando la figura no muestre esto correctamente. Las limitaciones en el montaje de los enlaces en la plataforma son: no se permite que las líneas 75 y 76 sean paralelas y se logra el montaje más rígido (en tanto sea posible desde una singularidad) cuando las líneas 77 y 78 son ortogonales la una a la otra. Además, la línea 77 no debe ser paralela a ninguna de las líneas 75 y 76. Se obtiene el montaje más rígido cuando la línea 77 tiene 45 grados con respecto a la línea 75 y 90 grados con respecto a la línea 76 según lo mostrado en la figura.

La presente invención no se limita a las realizaciones descritas sino que se puede variar y modificar dentro del alcance de las reivindicaciones siguientes.

# ES 2 303 131 T3

## REIVINDICACIONES

1. Un robot industrial para el movimiento de un objeto en el espacio que comprende:

- una plataforma (16) dispuesta para portar el objeto,
- un primer brazo (7) dispuesto para influenciar la plataforma en un primer movimiento y que comprende un primer actuador que tiene una primera vía (1) y un primer carro (4) desplazable linealmente a lo largo de la primera vía, y un primer (11) y un segundo (12) enlaces, comprendiendo cada enlace una junta externa (11b, 12b) conectada con la plataforma y una junta interna (11a, 12a) conectada con el primer carro,
- un segundo brazo (8) dispuesto para influenciar la plataforma en un segundo movimiento, que comprende un segundo actuador que tiene una segunda vía (2) y un segundo carro (5) desplazable linealmente a lo largo de la segunda vía, y dos enlaces (13, 14) comprendiendo cada enlace una junta externa (13b, 14b) conectada con la plataforma y una junta interna (13a, 14a) conectada con el segundo carro,
- un tercer brazo (9) dispuesto para influenciar la plataforma en un tercer movimiento, que comprende un tercer actuador y al menos un enlace (15) que comprende una junta externa (15b) conectada con la plataforma y una junta interna (15a) conectada con el tercer actuador, y
- una unidad de control que controla los movimientos de la plataforma,

**caracterizado** porque

- el primer enlace (11) del primer brazo está dispuesto con su eje longitudinal no paralelo al eje longitudinal del segundo enlace (12) del primer brazo,
- el primer brazo está dispuesto rotativo alrededor de al menos un eje perpendicular a un primer plano (C) que comprende la primera y segunda vías,
- el segundo brazo está dispuesto rotativo alrededor de al menos un eje perpendicular a dicho primer plano,
- el primer y el segundo brazos están dispuestos rotativos de tal manera que la plataforma es movable entre los lados opuestos de un segundo plano (D) perpendicular a dicho primer plano y que pasa a través del primer y del segundo carros y que los sigue continuamente, y
- dicha unidad de control comprende unos medios de control adaptados para realizar, al recibir una orden, una reconfiguración de la plataforma y de los brazos del robot, donde la reconfiguración comprende desplazar la plataforma entre los lados opuestos de dicho segundo plano.

2. Un robot industrial según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la distancia entre la junta interna (11a) del primer enlace, y la junta interna (12a) del segundo enlace es más corta que la distancia entre la junta externa (11b) del primer enlace y la junta externa (12b) del segundo enlace.

3. Un robot industrial según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque las juntas internas (11a, 12a) del primer y del segundo enlaces del primer brazo están dispuestas a cierta distancia la una de la otra en una dirección perpendicular a dicho primer plano.

4. Un robot industrial según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque las juntas internas (11a, 12a) del primer y del segundo enlace del primer brazo están dispuestas a lo largo de una línea común (23), que es perpendicular a dicho primer plano.

5. Un robot industrial según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque dicho primer brazo comprende un tercer enlace (10) que comprende una junta externa (10b) conectada con la plataforma y una junta interna (10a) conectada con el primer carro.

6. Un robot industrial según las reivindicaciones 4 y 5, **caracterizado** porque la junta interna (10a) del tercer enlace también está dispuesta a lo largo de dicha línea común (23).

7. Un robot industrial según la reivindicación 4 ó 6, **caracterizado** porque las juntas internas (13a, 14a) del segundo brazo están dispuestas a lo largo de una línea (64) que se paralela a dicha línea común (23) a lo largo de la cual están dispuestas dichas juntas del primer brazo.

8. Un robot industrial según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la junta interna (11a) del primer enlace y la junta interna (11b) del segundo enlace son una única junta común.

## ES 2 303 131 T3

9. Un robot industrial según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque uno los enlaces está dotado de un mecanismo de enclavamiento (48, 49), el cual, al proceder a su activación, evita que el enlace gire sobre su eje longitudinal.

5 10. Un robot industrial según la reivindicación 9, **caracterizado** porque dicho mecanismo de enclavamiento (48, 49) está dispuesto para evitar que el enlace gire sobre su eje longitudinal cuando el robot pasa a través de una singularidad durante una reconfiguración.

10 11. Un robot industrial según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque tanto la junta interna y como la externa de uno de los enlaces están dispuestas movibles en solamente dos grados de libertad, y dicho un enlace está dotado de un juego (43, 44) dispuesto para asumir los movimientos rotatorios de menor importancia sobre el eje longitudinal del enlace.

15 12. Un robot industrial según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque dicho enlace (15) del tercer brazo está dotado de una unidad de enclavamiento (24, 25) que tiene un estado bloqueado, en el cual el enlace es fijo con respecto a su junta interna (15a), y un estado abierto, en el cual se permite al enlace moverse con respecto a su junta interna en una dirección a lo largo del eje longitudinal del enlace.

20 13. Un robot industrial según cualquiera de las reivindicaciones 1-11, **caracterizado** porque el enlace (15c, 15d) del tercer brazo está dispuesto con una longitud ajustable, y el tercer brazo (9) incluye un actuador adaptado para controlar la longitud del enlace.

25 14. Un robot industrial según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque uno de los enlaces del primer o del segundo brazos está dotado de un miembro de enclavamiento (27, 38; 54, 55), que al proceder a su activación evita que el enlace se mueva en una dirección perpendicular al primer plano.

30 15. Un robot industrial según la reivindicación 14, **caracterizado** porque dicho miembro de enclavamiento (27, 38; 54, 55) está dispuesto para bloquear una de las juntas de dicho enlace dotado del miembro de enclavamiento, evitando que giren alrededor de unos ejes paralelos al primer plano.

35 16. Un robot industrial según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque los dos enlaces (13, 14) del segundo brazo tienen esencialmente la misma longitud y está dispuesto con sus ejes longitudinales en paralelo.

40 17. Un robot industrial según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque al menos dos de los enlaces (10, 11, 12) del primer brazo están dispuestos de modo que, desde al menos un punto de vista, estén en paralelo.

45 18. Un robot industrial según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque al menos dos de los enlaces (10, 11, 12) del primer brazo tienen esencialmente la misma longitud.

50 19. Un robot industrial según la reivindicación 5 ó 6, **caracterizado** porque el primer, el segundo y el tercer enlaces (10, 11, 12) están dispuestos de modo que, desde al menos un punto de vista, estén en paralelo.

55 20. Un método para la reconfiguración de un robot industrial según la reivindicación 1, que comprende una plataforma (16) dispuesta para llevar un objeto, un primer brazo (7) dispuesto para influenciar la plataforma en un primer movimiento, que comprende un primer actuador que tiene una primera vía (1) y un primer carro (4) desplazable linealmente a lo largo de la primera vía, y al menos dos enlaces, comprendiendo cada enlace una junta externa (11b, 12b) conectada con la plataforma y una junta interna (11a, 12a) conectada con el primer carro, el primer enlace del primer brazo está dispuesto con su eje longitudinal no paralelo al eje longitudinal del segundo enlace del primer brazo, un segundo brazo (8) dispuesto para influenciar la plataforma en un segundo movimiento, comprendiendo un segundo actuador que tiene una segunda vía (2) y un segundo carro (5) desplazable linealmente a lo largo de la segunda vía, y al menos dos enlaces (13, 14), comprendiendo cada enlace una junta externa conectada con la plataforma y una junta interna conectada con el segundo carro, y un tercer brazo dispuesto para influenciar la plataforma en un tercer movimiento, y el primer y el segundo brazos están dispuestos movibles de tal manera que la plataforma sea movable entre los lados opuestos de un segundo plano que pasa a través del primer y del segundo carros y los sigue continuamente y perpendicular a un primer plano que comprende la primera y la segunda vías, donde el robot está en una primera posición, en la cual la plataforma se coloca en un primer lado de dicho segundo plano que pasa a través del primer y del segundo carros, y el método comprende:

60 - mover el robot a una segunda posición moviendo al menos el primer y el segundo brazos el uno respecto al otro hasta que la plataforma se coloque cerca de dicho segundo plano, - mover el robot a una tercera posición moviendo al menos el tercer brazo de modo que el primer y el segundo brazos coincidan con dicho segundo plano, y

65 - mover el robot a una cuarta posición moviendo al menos el tercer brazo para colocar la plataforma en un segundo lado de dicho segundo plano.

## ES 2 303 131 T3

21. El método según la reivindicación 20, donde el método comprende:

- mover al menos al primer y el segundo carros hasta que el robot alcance dicha segunda posición,
- bloquear uno de los enlaces para que no gire sobre su eje longitudinal,
- mover al menos el tercer brazo hasta que el robot alcance dicha cuarta posición, y
- soltar dicho enclavamiento de uno de los enlaces para que pueda girar sobre su eje longitudinal.

22. El método según la reivindicación 20 ó 21, donde el tercer brazo comprende un tercer actuador y al menos un enlace que comprende una junta externa conectada con la plataforma y una junta interna conectada con el tercer actuador, y cuando el robot está en dicha primera posición la junta interna del enlace del tercer brazo se coloca en un primer lado de un tercer plano perpendicular a la primera y a la segunda vías, y que pasa a través de la plataforma y la sigue continuamente, y el método comprende adicionalmente:

- mantener el enlace del tercer brazo en una relación fija con respecto a su junta interna hasta que el robot haya pasado dicha tercera posición, y cuando el robot haya pasado dicha tercera posición,
- bloquear uno de los enlaces del primer o del segundo brazos para que no se desplace en una dirección perpendicular al primer plano,
- permitir que el enlace del tercer brazo se mueva con respecto a su junta interna en una dirección a lo largo de los ejes longitudinales del enlace,
- mover la junta interna del enlace del tercer brazo a dicho segundo lado de dicho tercer plano,
- bloquear el enlace del tercer brazo en una relación fija con respecto a su junta interna, y
- soltar dicho enclavamiento de uno de los enlaces del primer o del segundo brazos para que se mueva en una dirección perpendicular al primer plano.

23. El método según cualquiera de las reivindicaciones 20-22, donde los movimientos de al menos uno del primer y del segundo brazos estén controlados por un servocontrol obediente durante el paso de dicha tercera posición del robot.

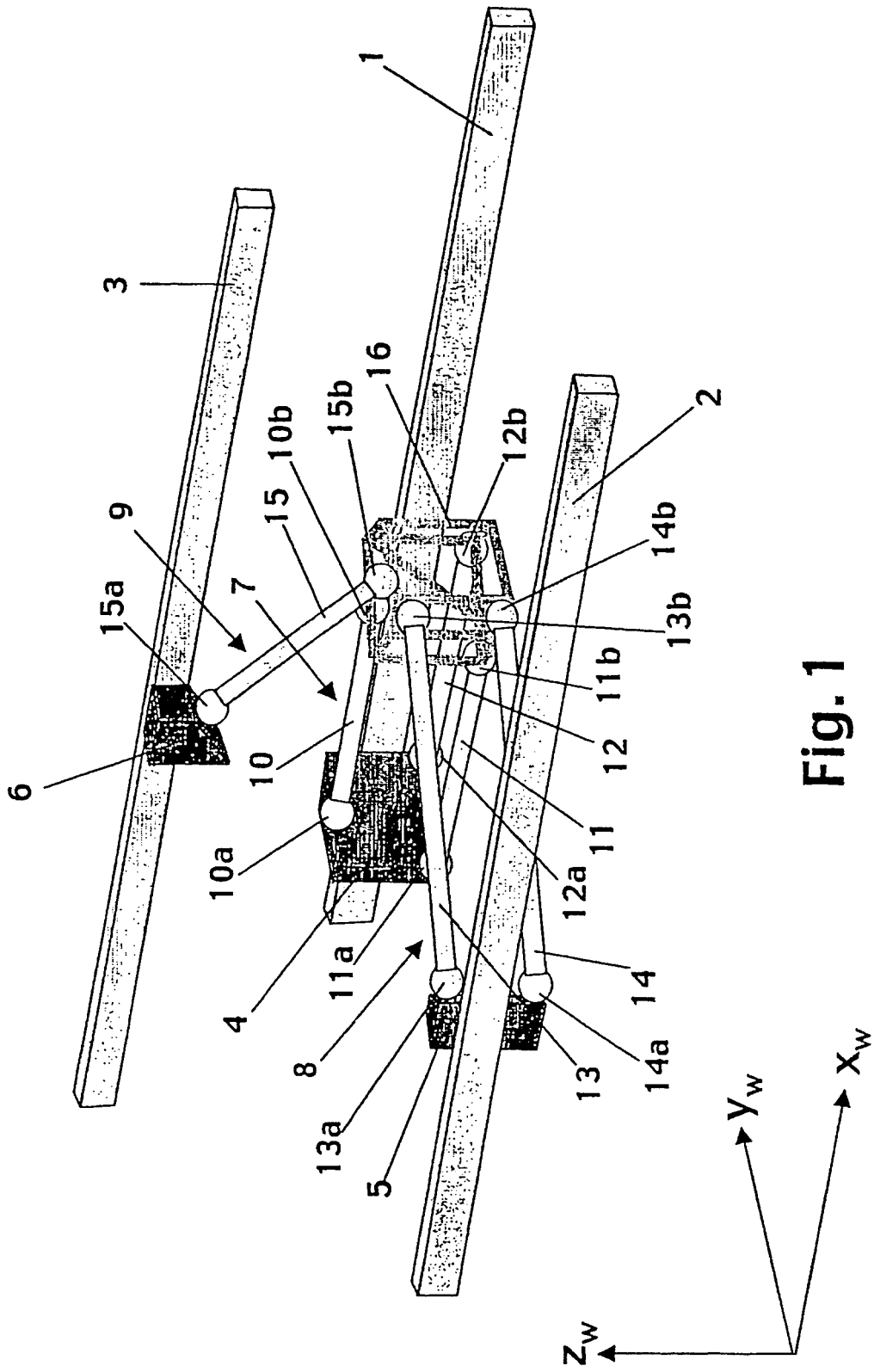


Fig. 1

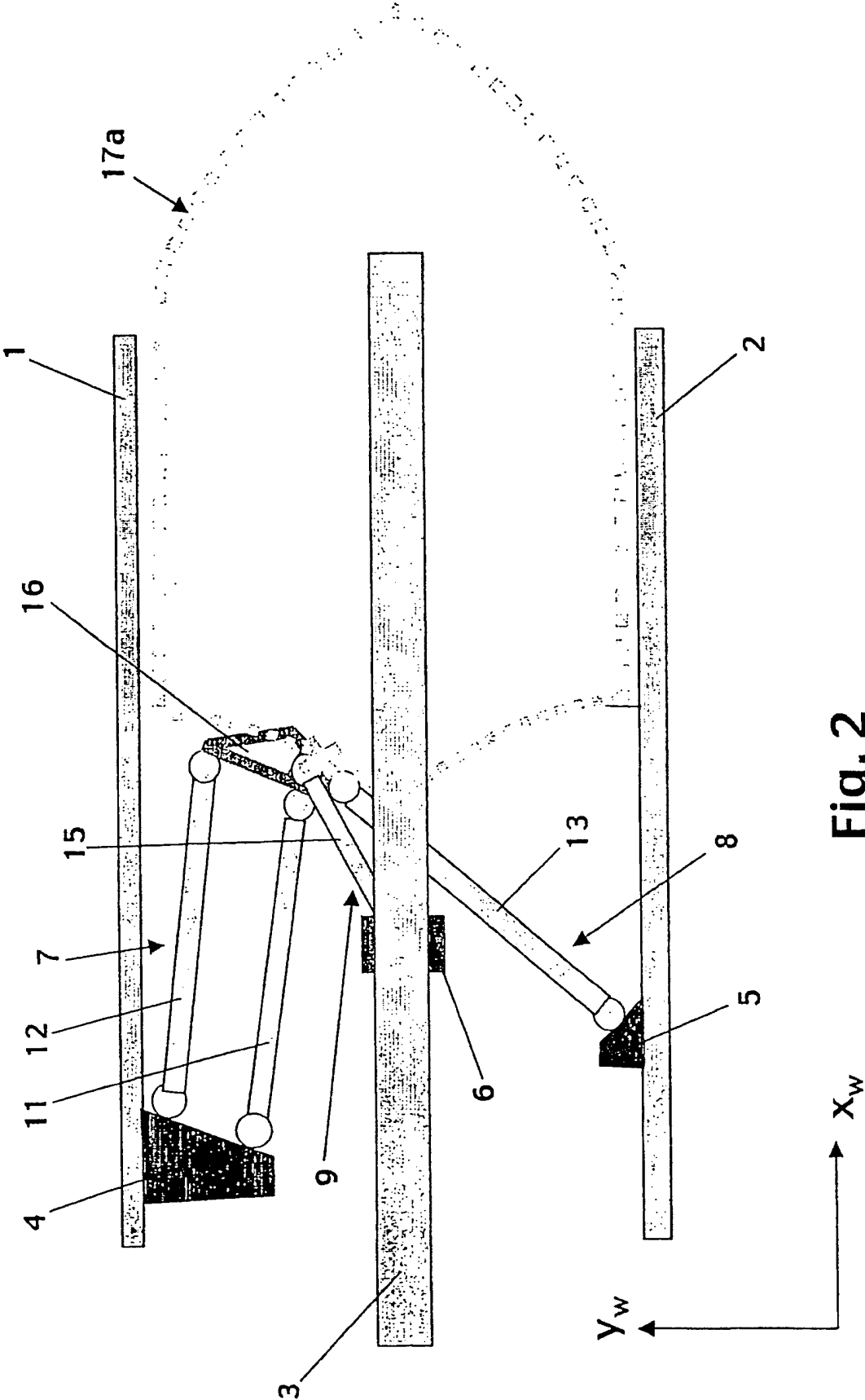


Fig. 2

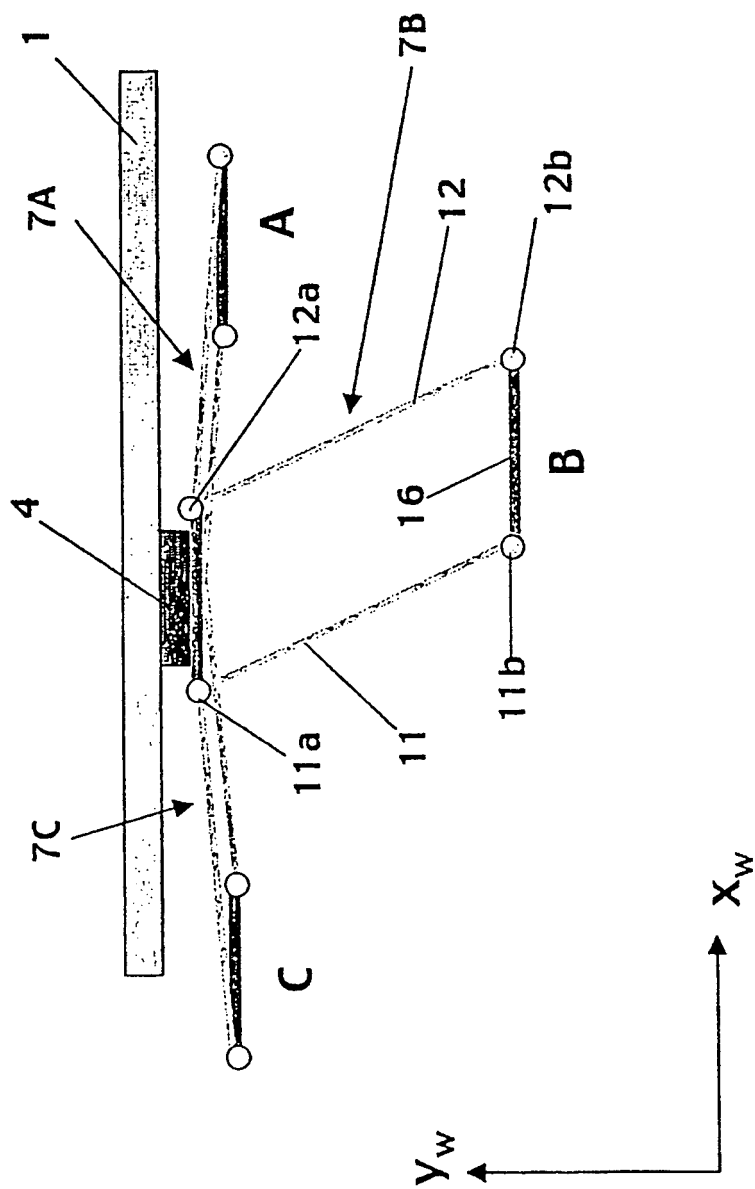


Fig. 3



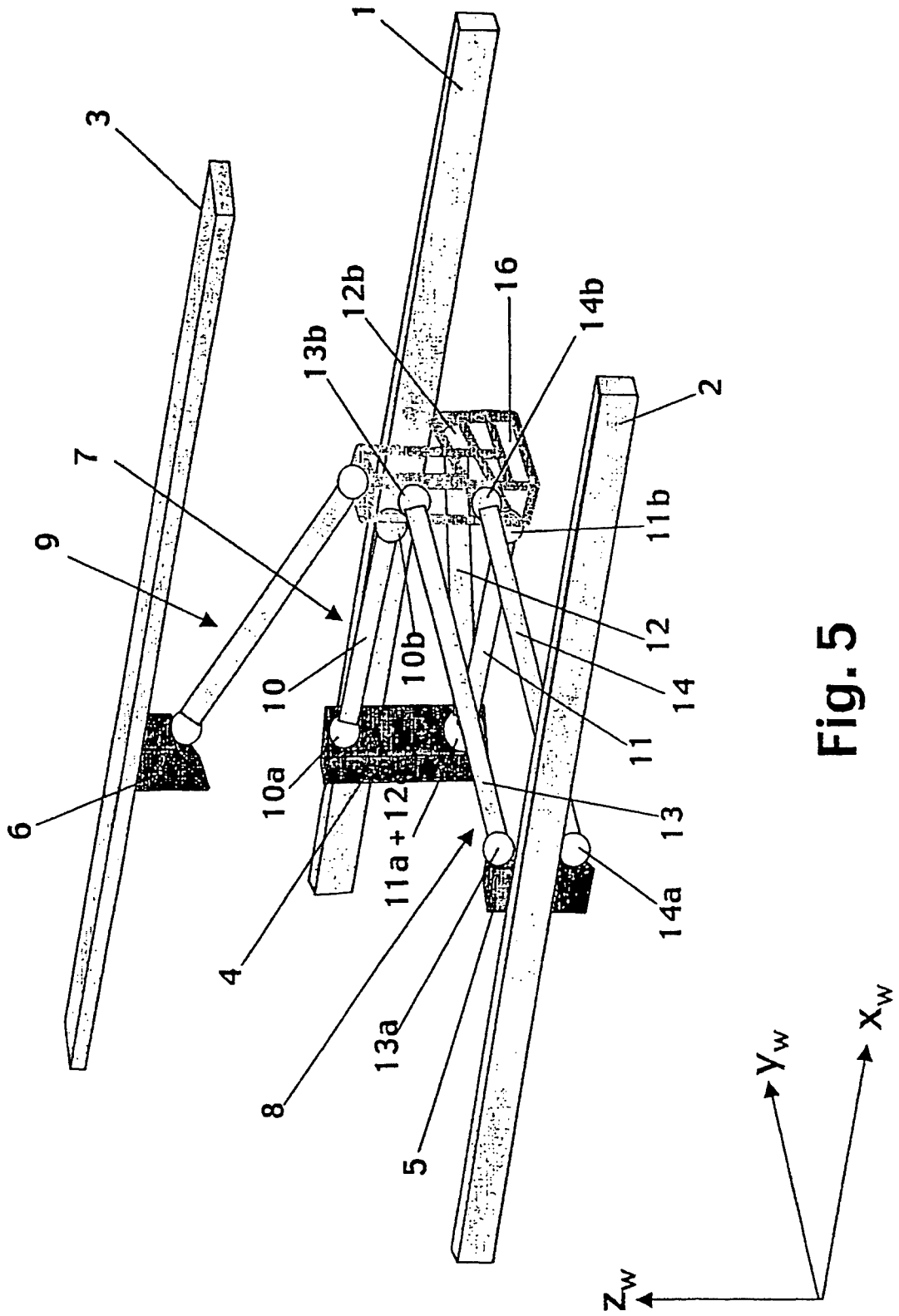


Fig. 5

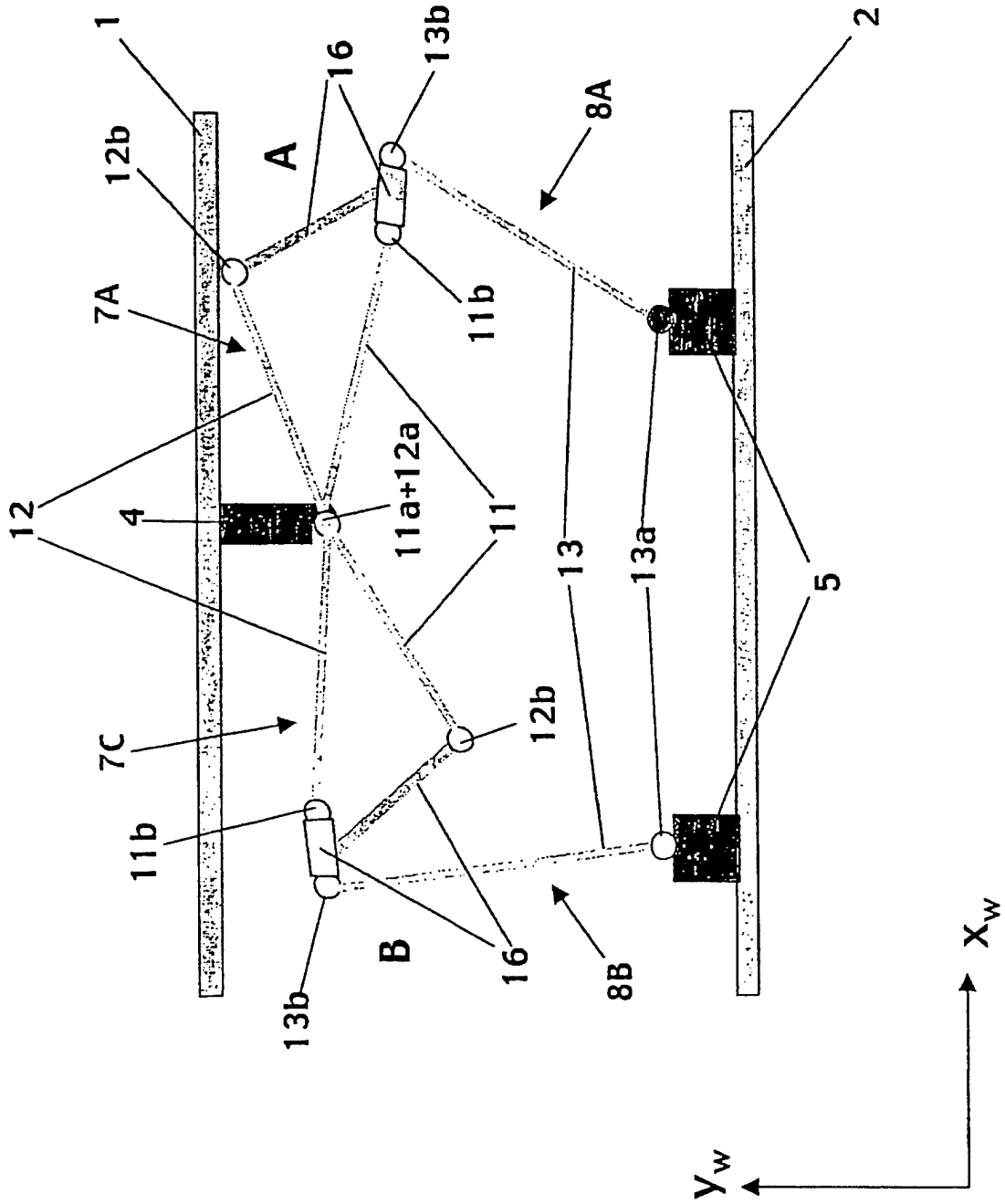


Fig. 6

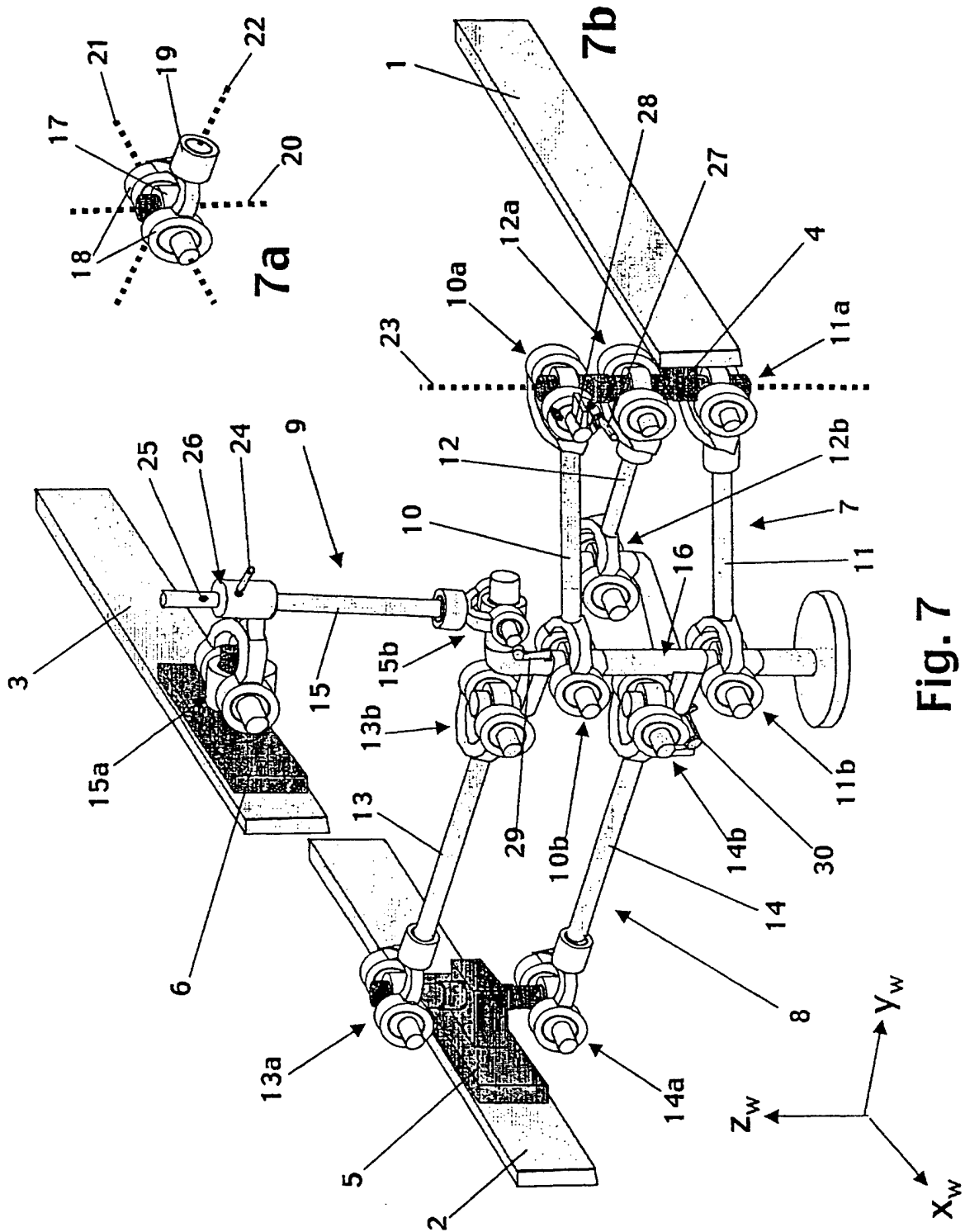


Fig. 7

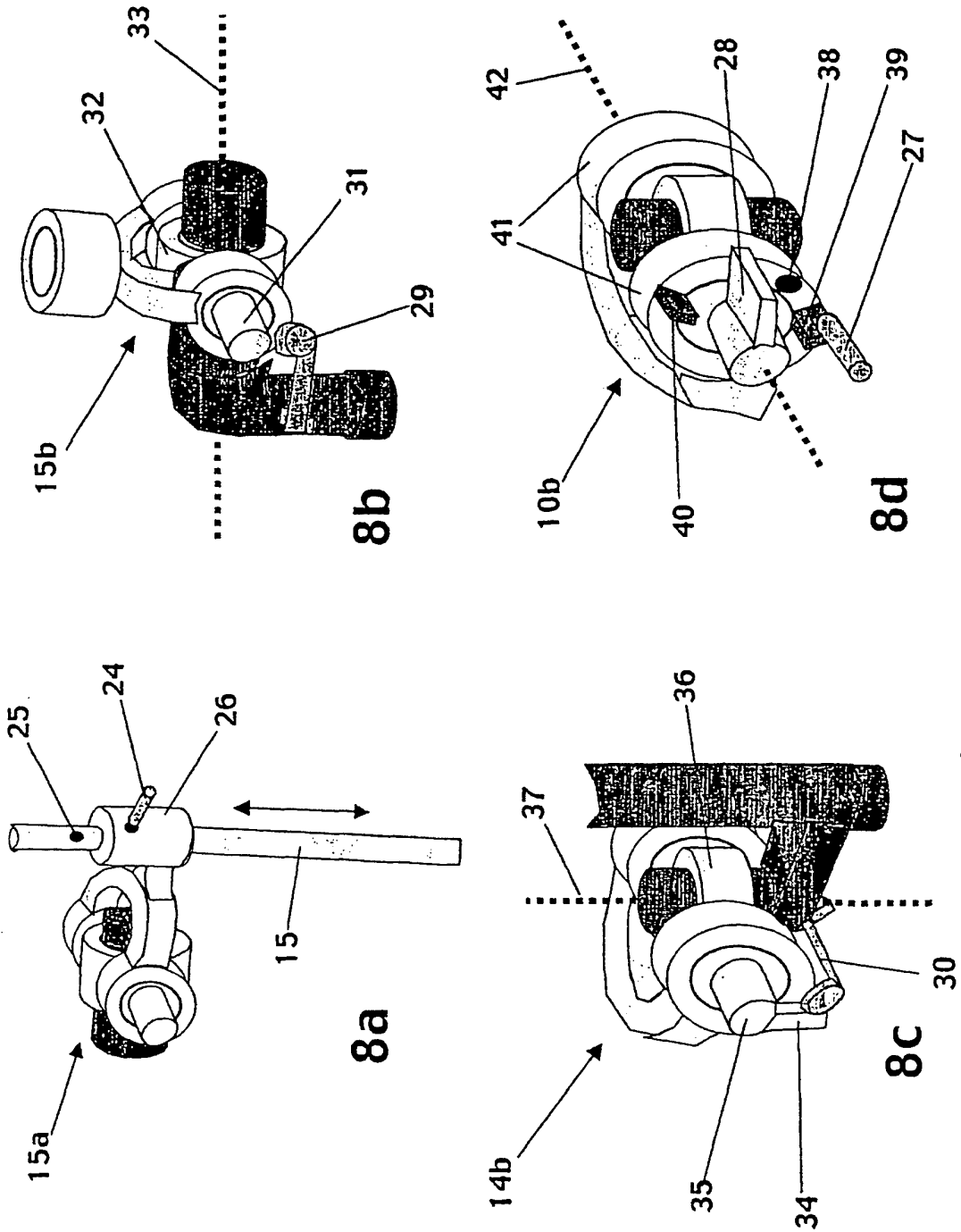


Fig. 8

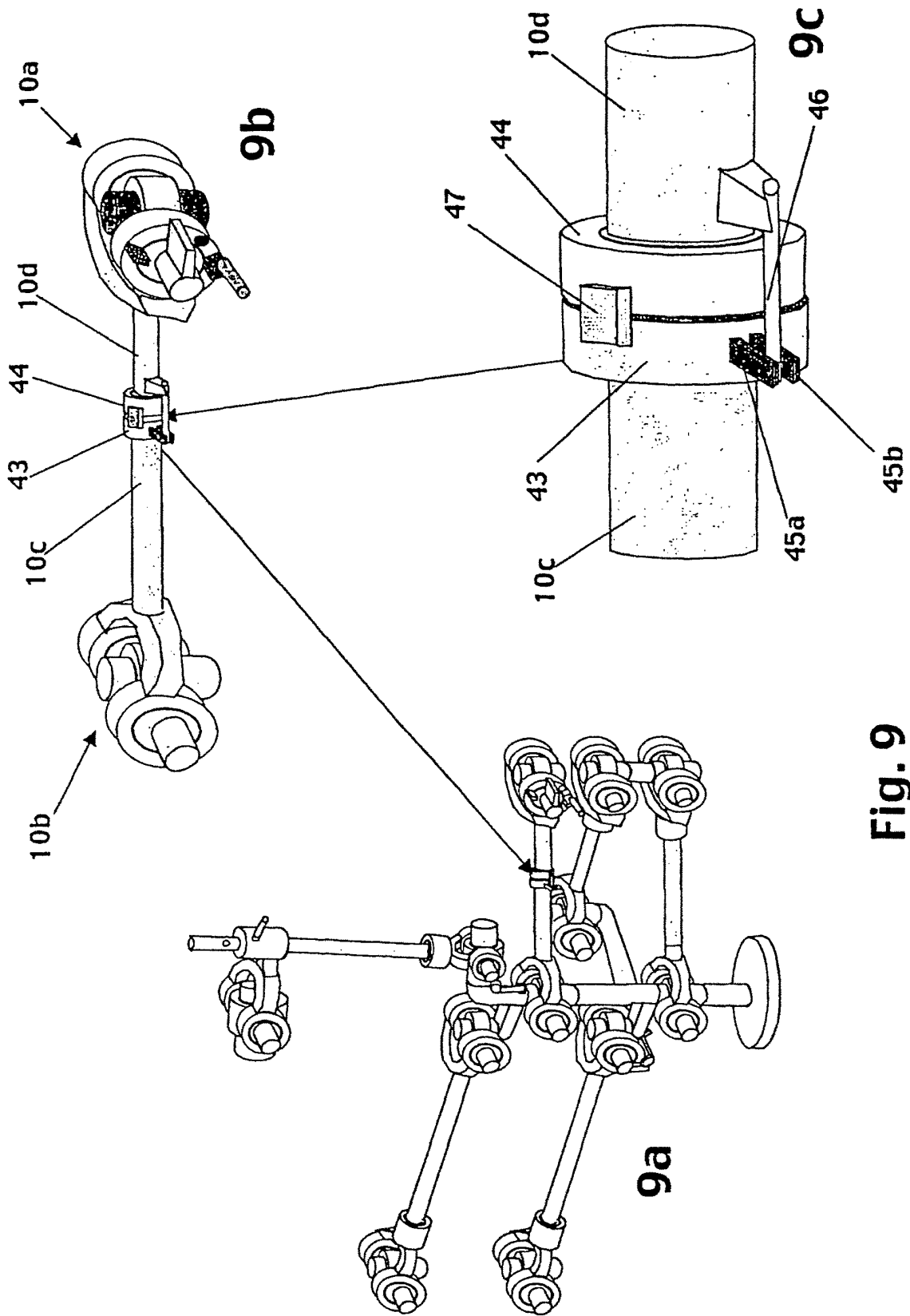


Fig. 9

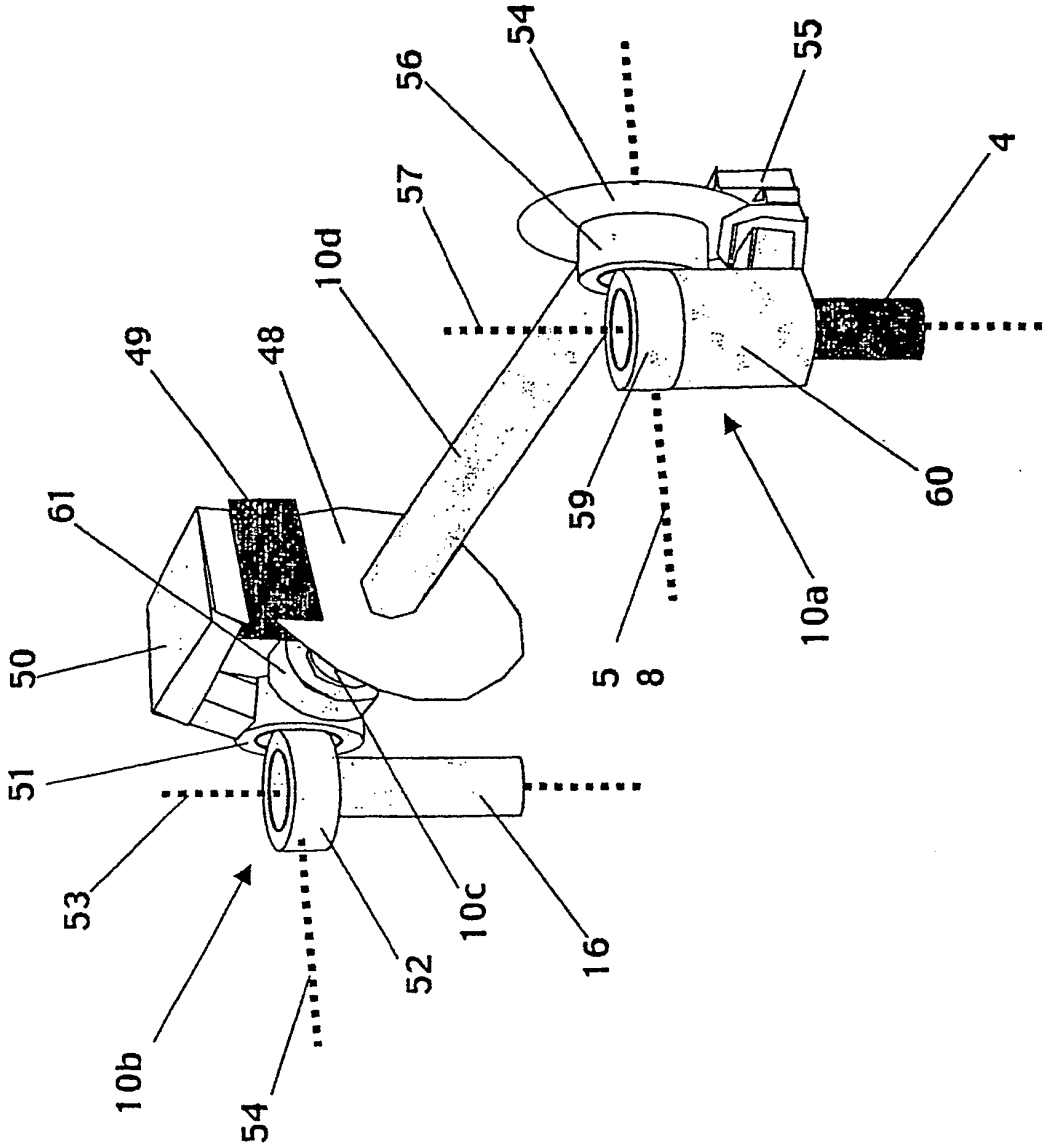


Fig. 10

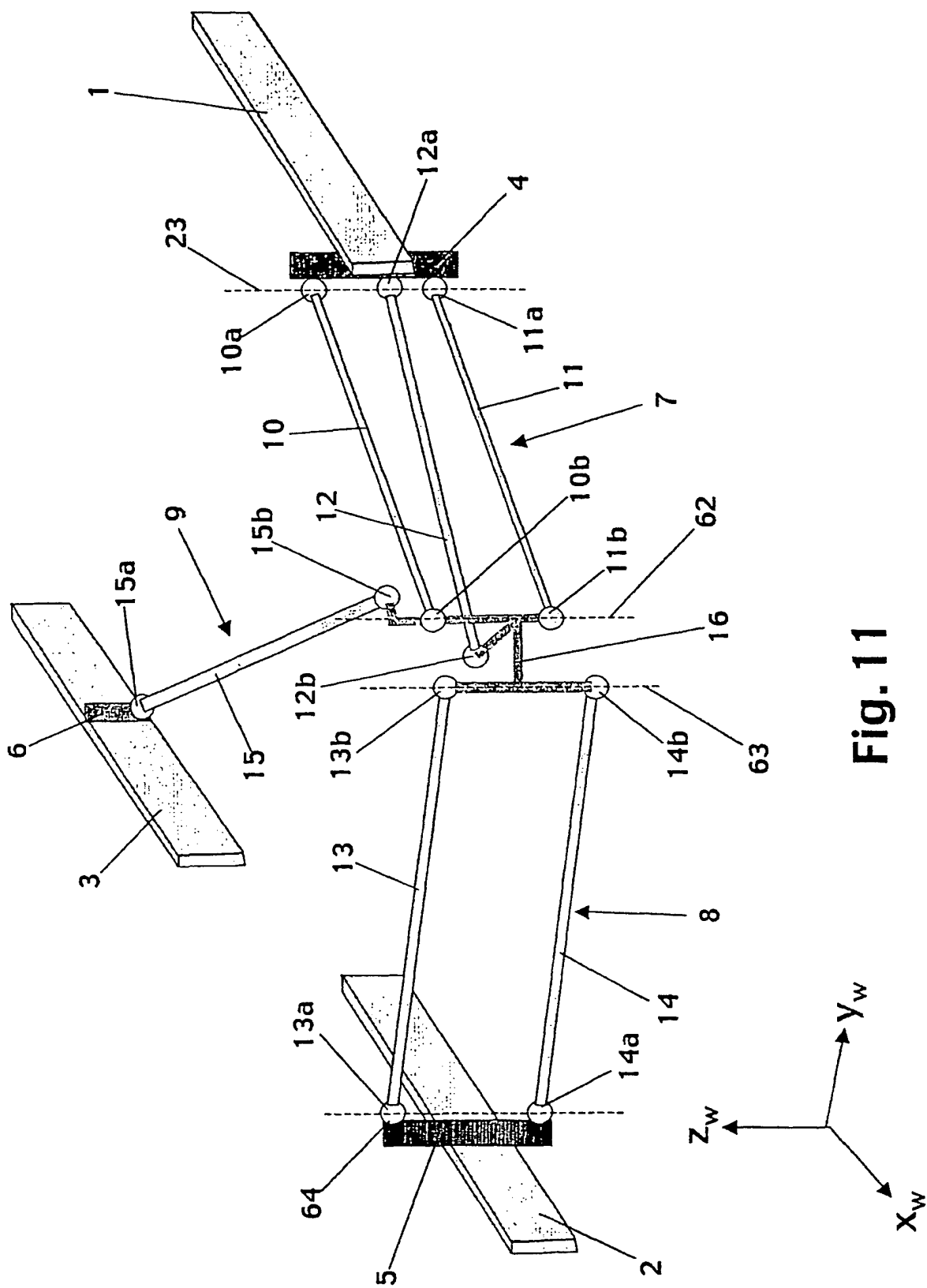


Fig. 11

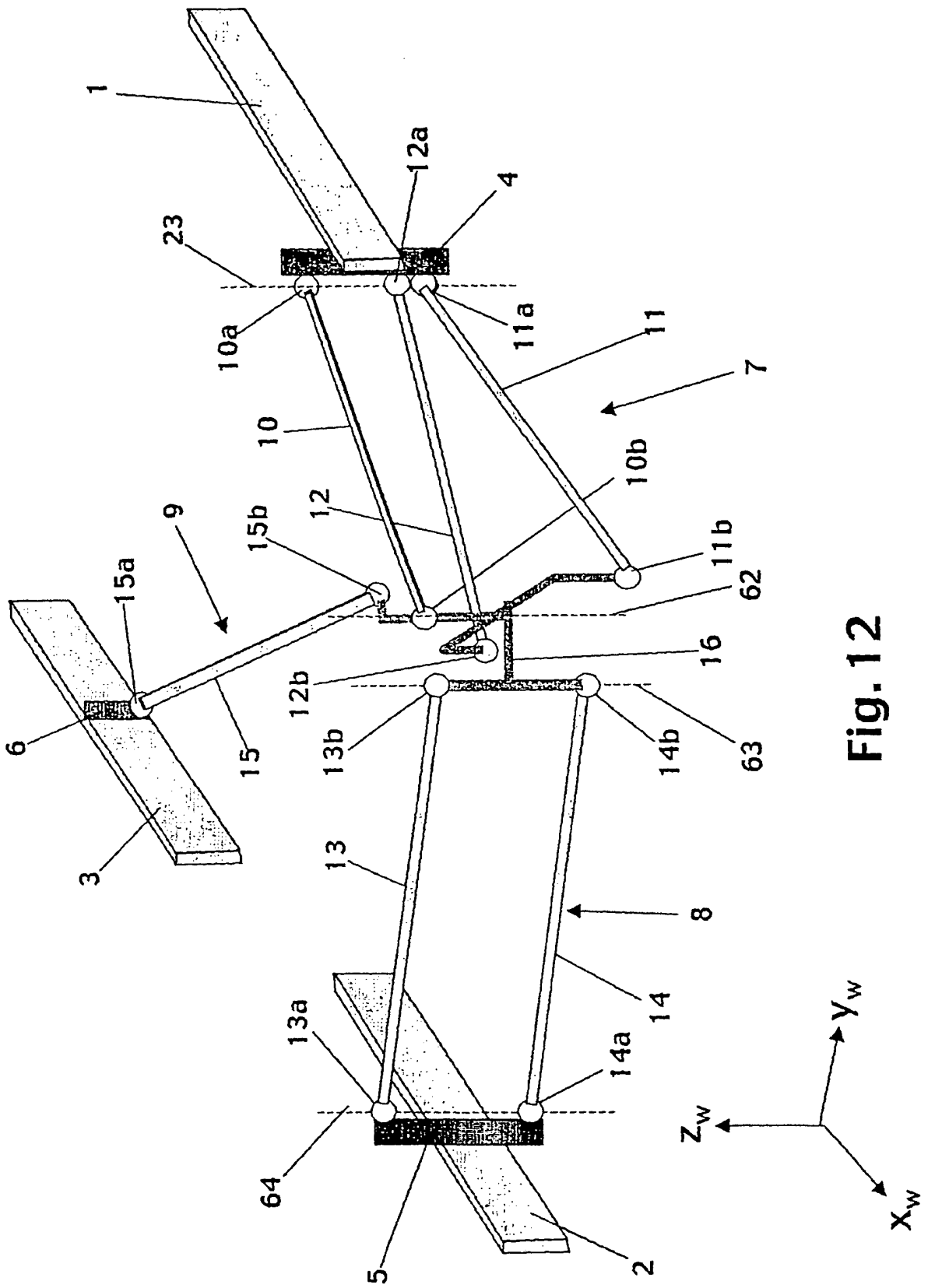


Fig. 12

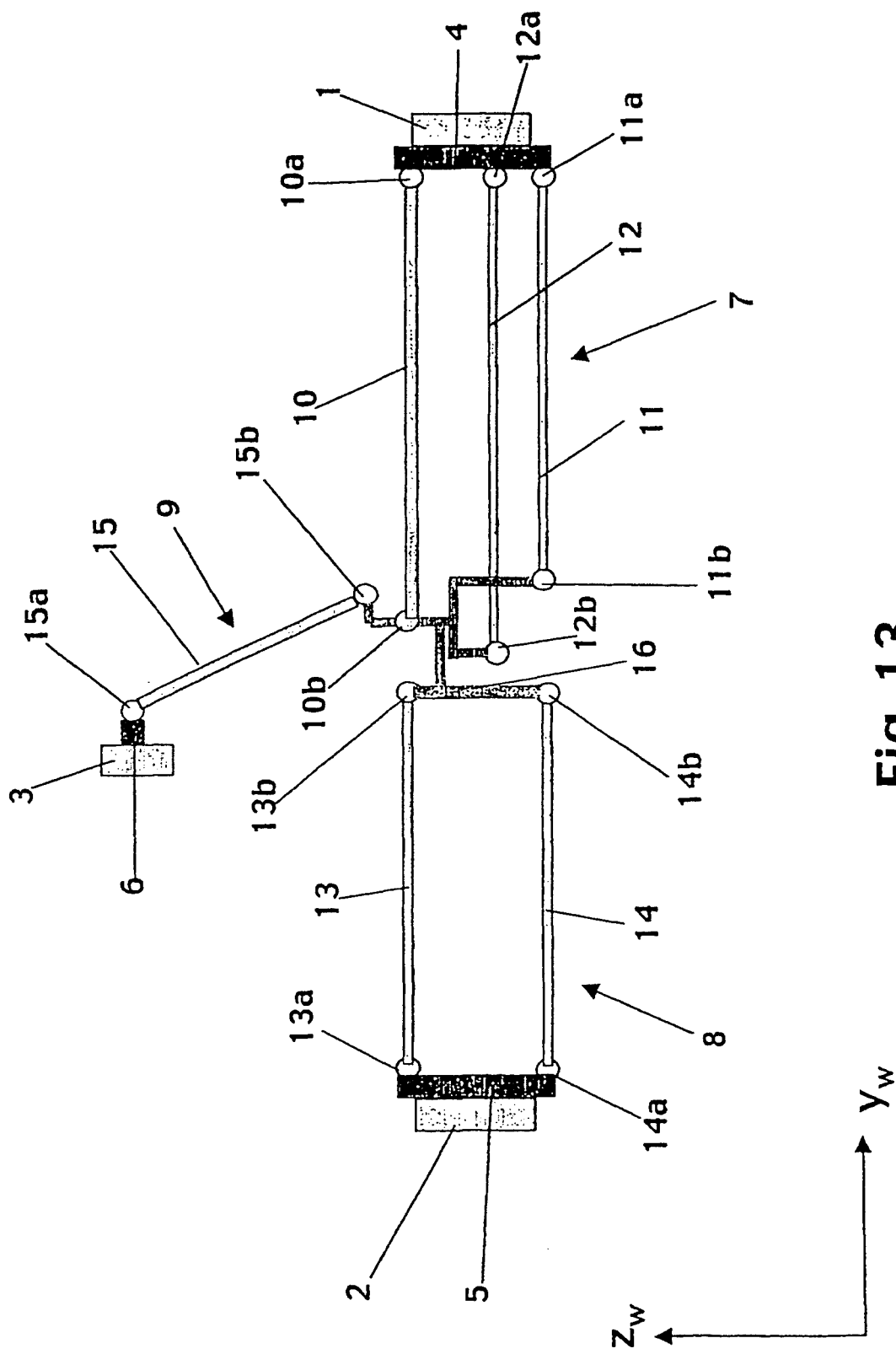


Fig. 13

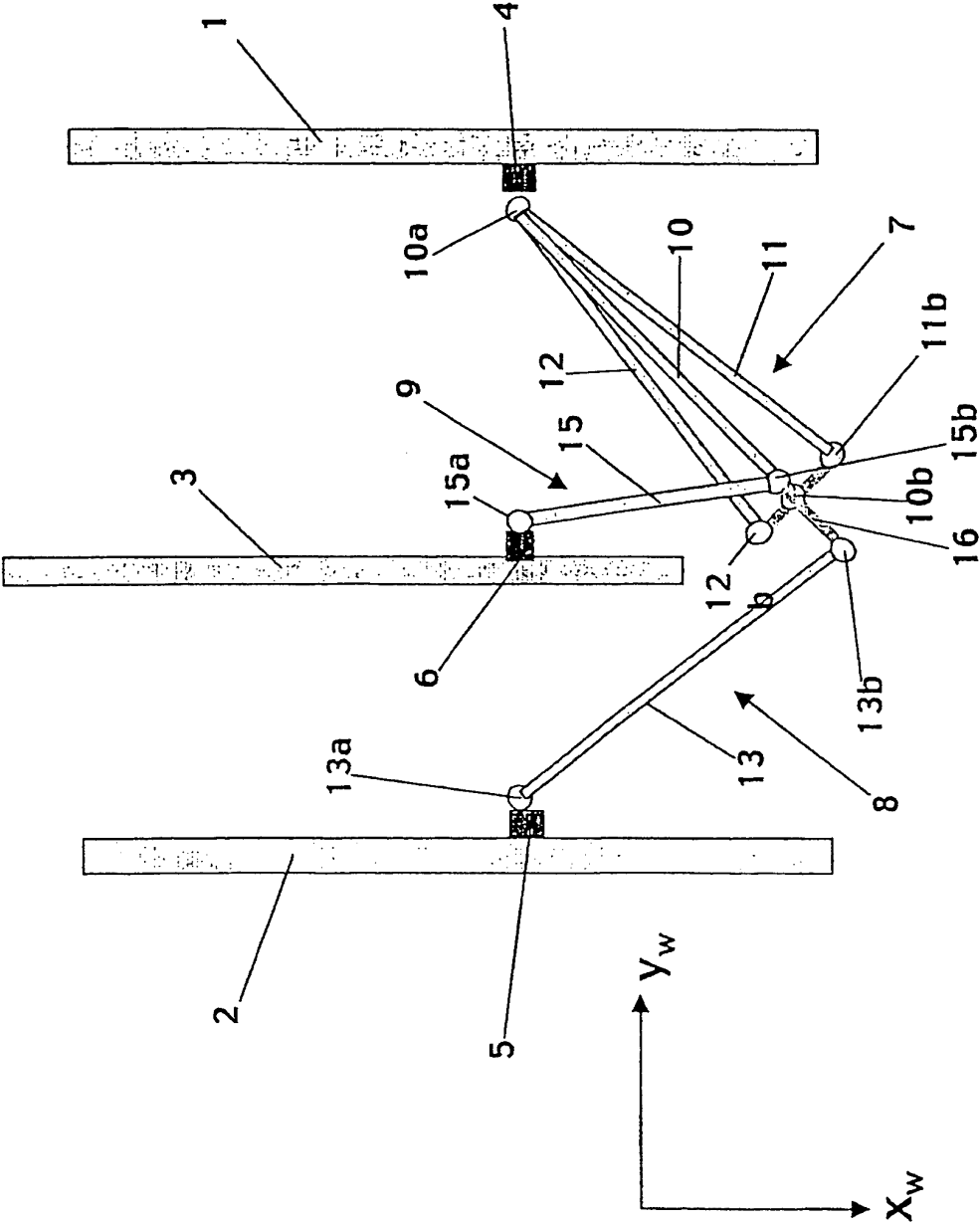


Fig. 14

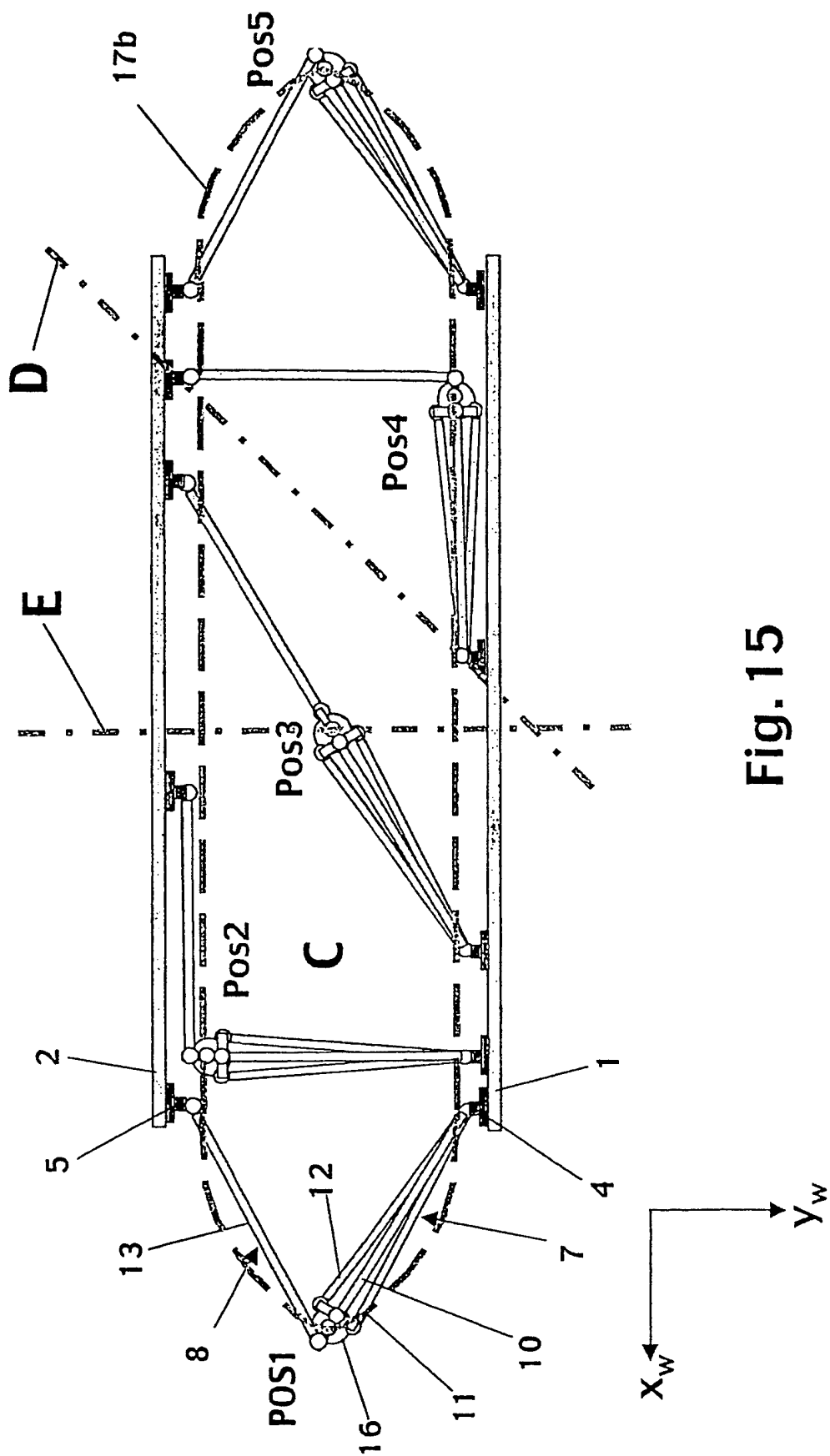


Fig. 15

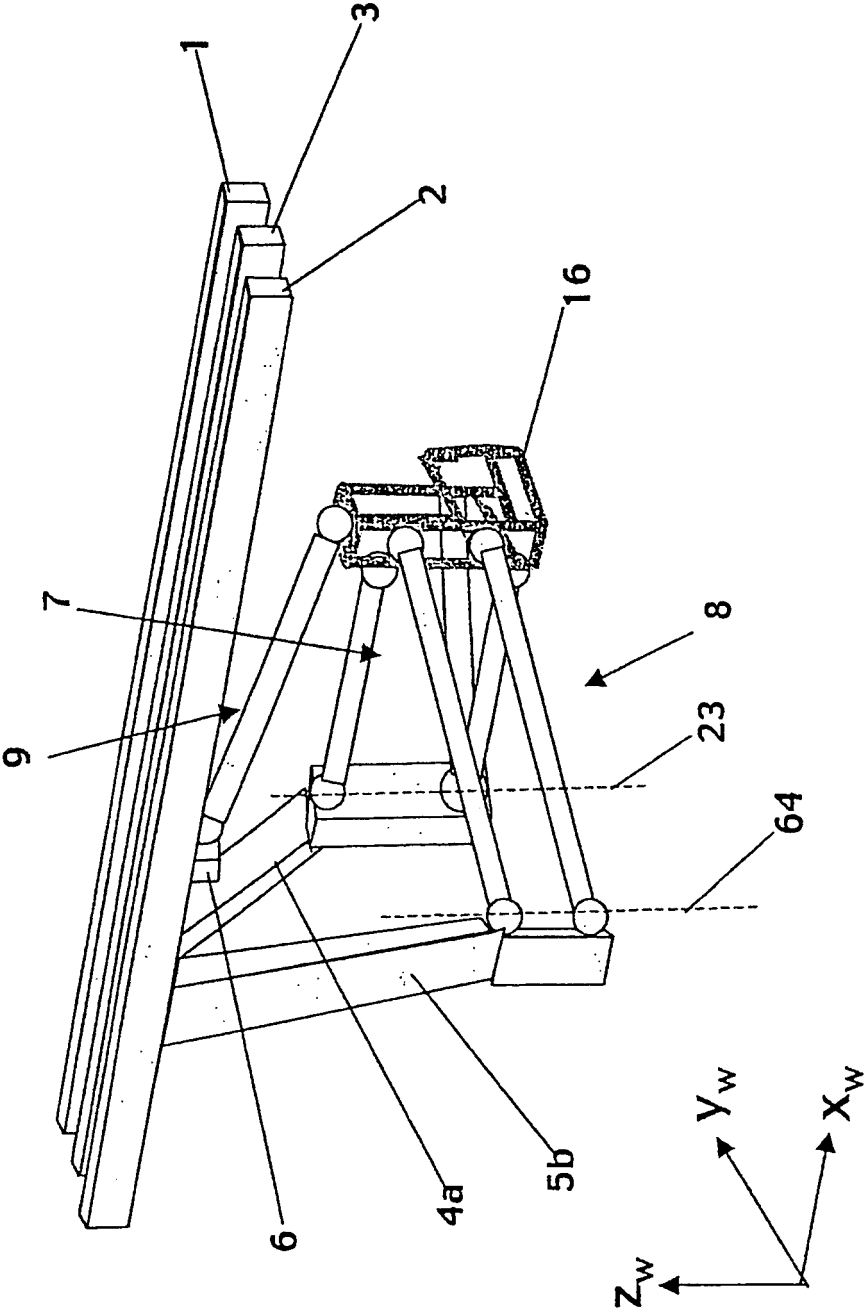


Fig. 16

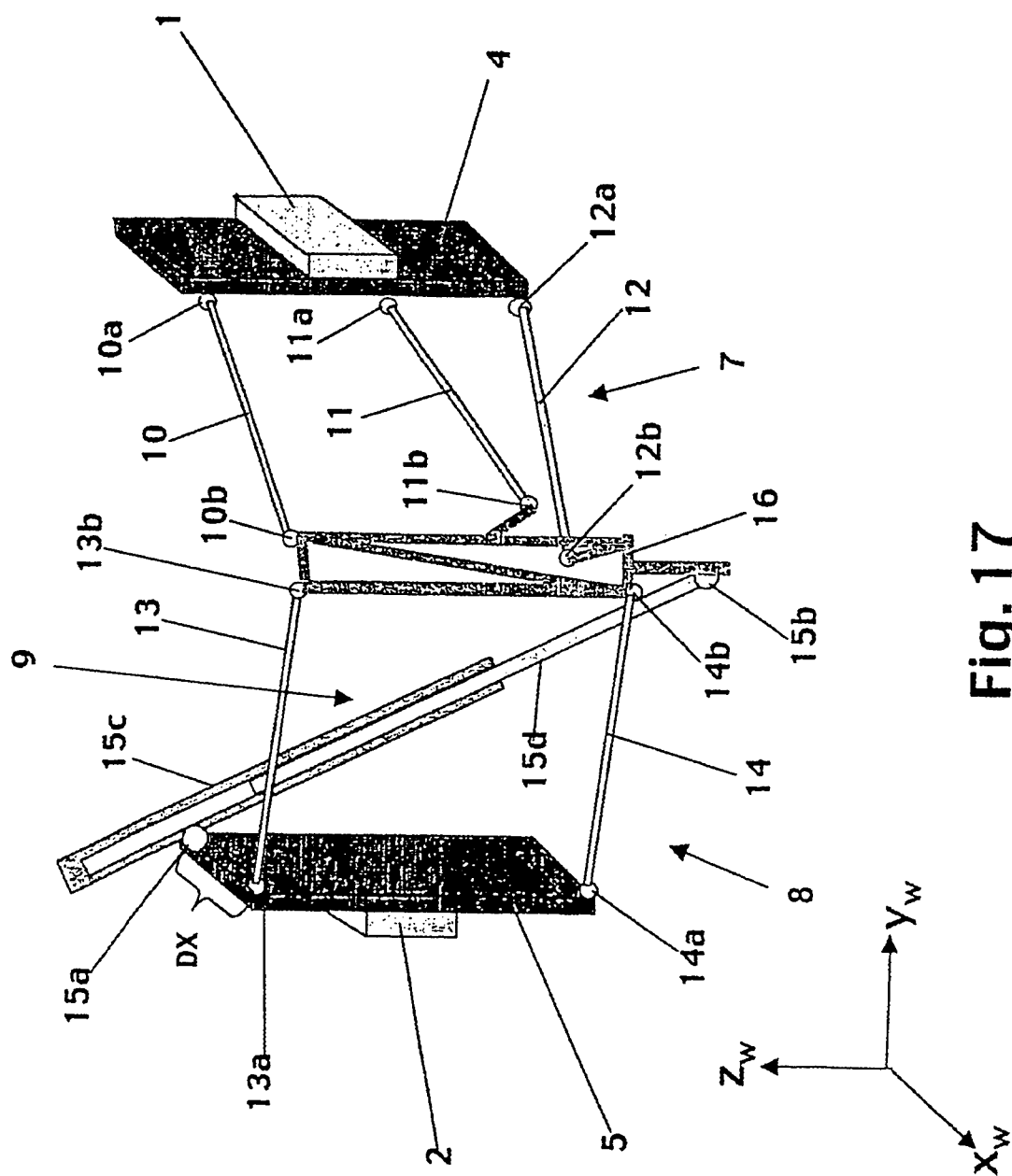


Fig. 17

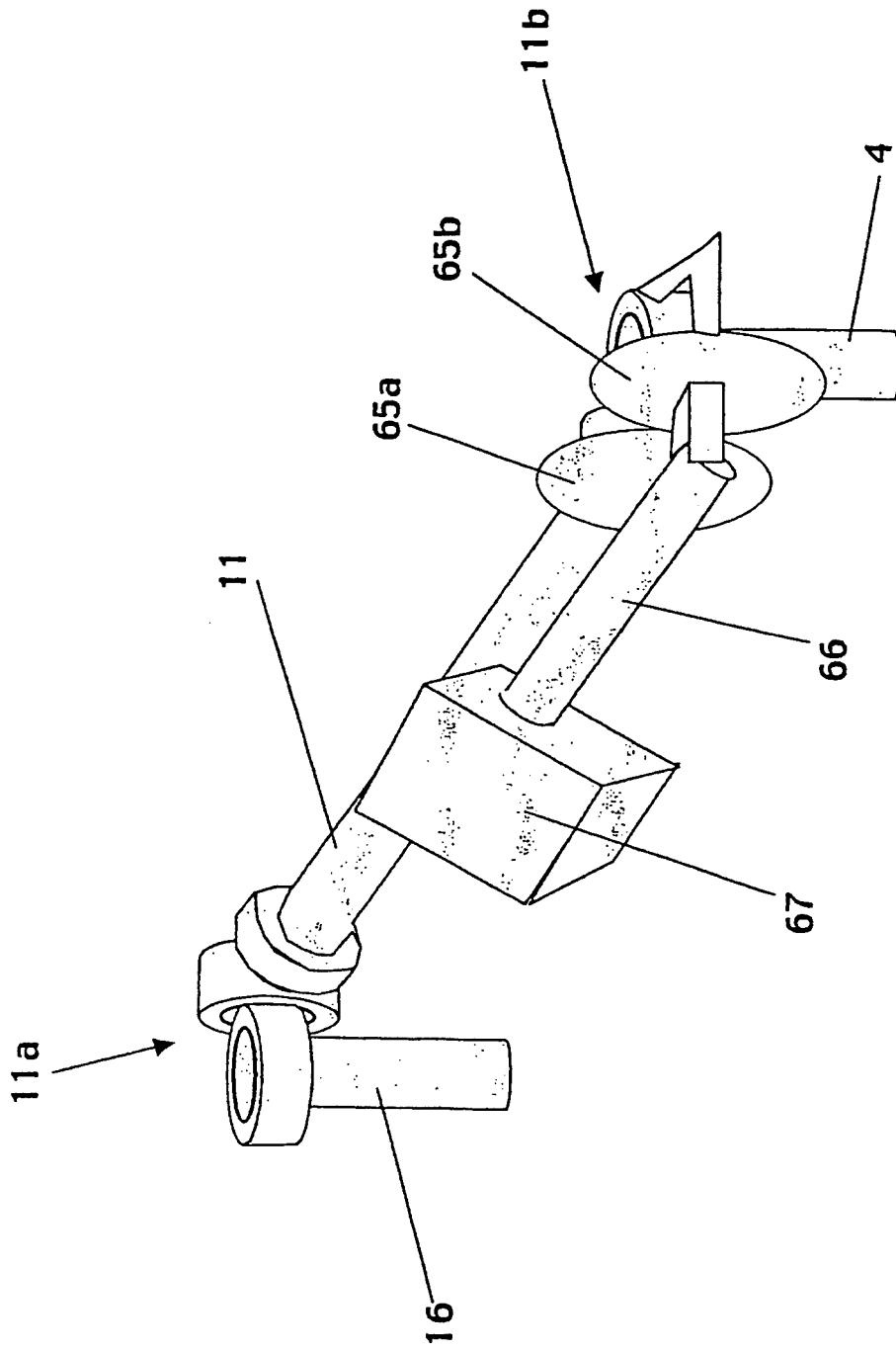
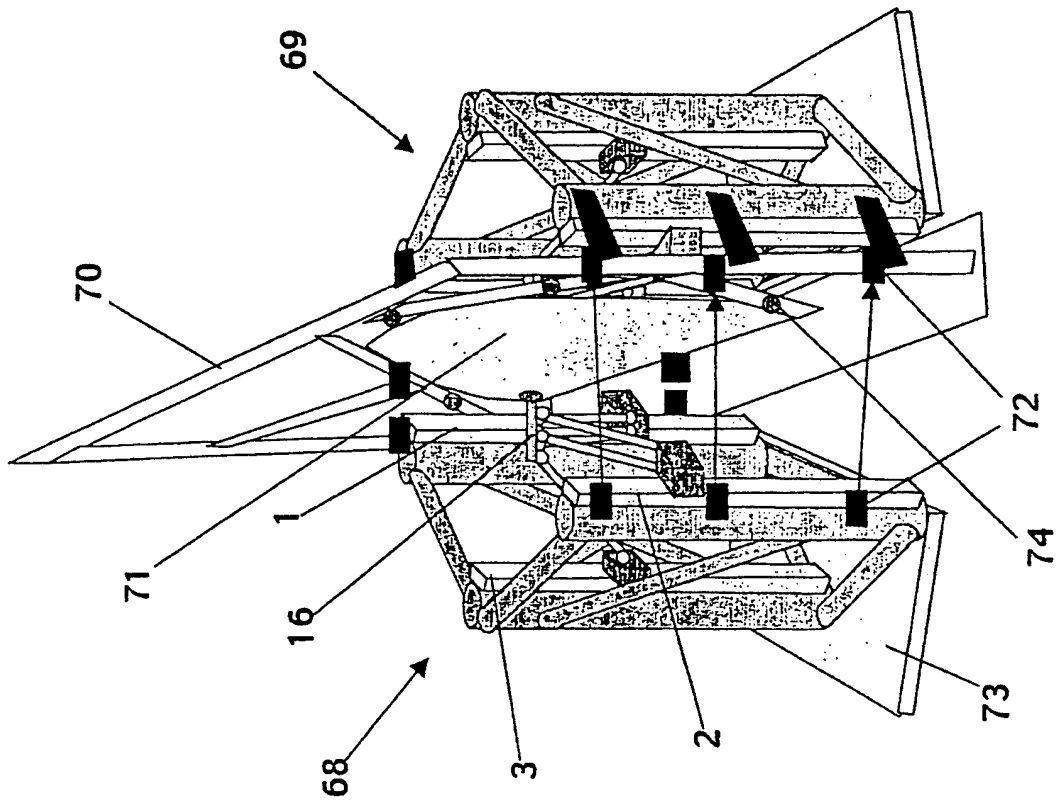


Fig. 18



**Fig. 19**

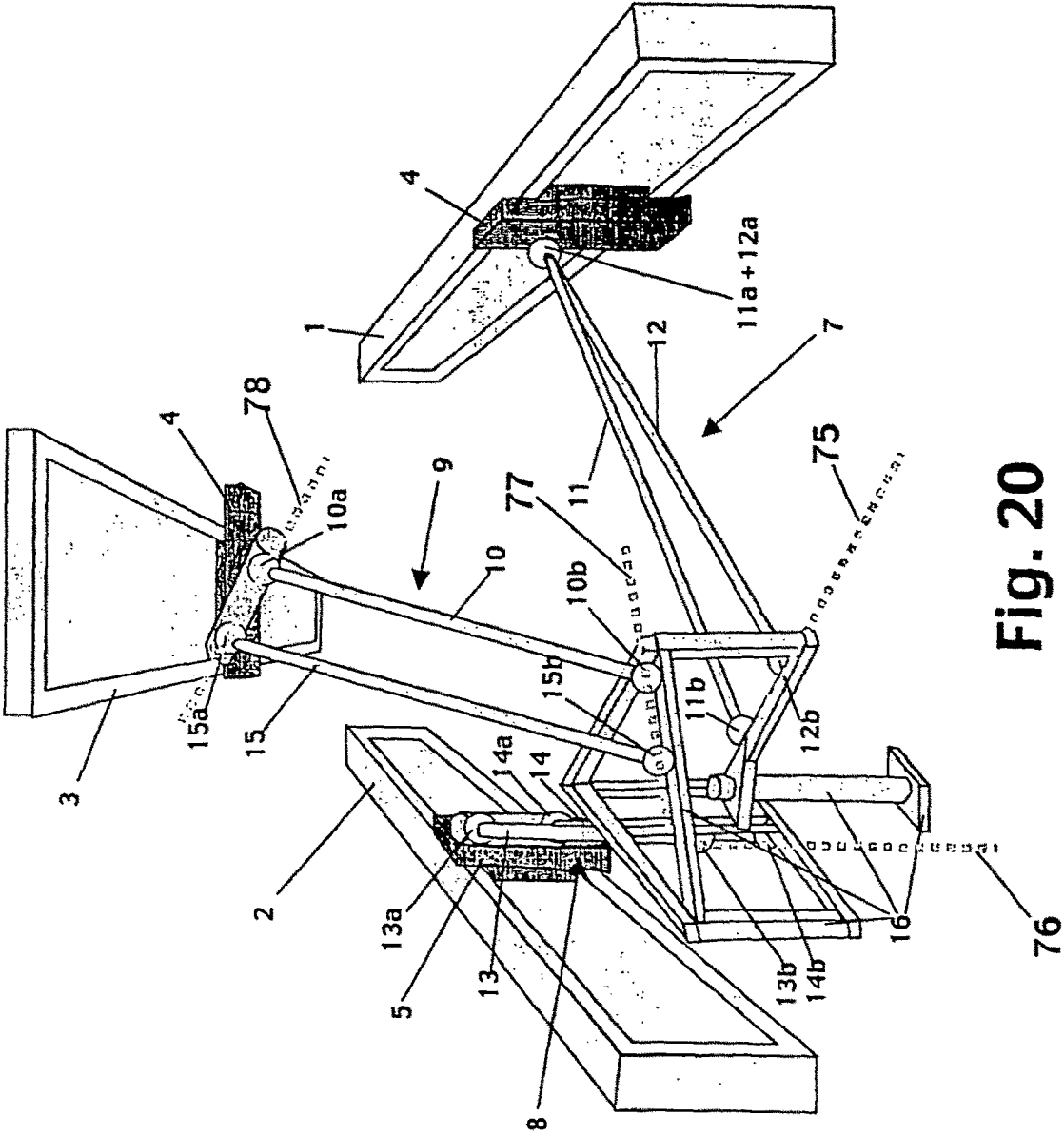


Fig. 20