

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 971 932**

51 Int. Cl.:

B25J 9/16 (2006.01)

B25J 9/00 (2006.01)

G06F 30/17 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.10.2020 PCT/EP2020/077474**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.04.2021 WO21064082**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.10.2020 E 20780224 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.12.2023 EP 4037877**

54 Título: **Un método para determinar la colocación de articulaciones de máquina cinemática paralela y una máquina cinemática paralela con alta rigidez**

30 Prioridad:

04.10.2019 EP 19201371

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.06.2024

73 Titular/es:

**COGNIBOTICS AB (100.0%)
Ideon Science Park, Scheelevägen 15
223 70 Lund, SE**

72 Inventor/es:

**BROGÅRDH, TORGNY;
NILSSON, KLAS y
HELGOSSON, PETER**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 971 932 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

Un método para determinar la colocación de articulaciones de máquina cinemática paralela y una máquina cinemática paralela con alta rigidez

5

Campo técnico

La presente divulgación se refiere al campo técnico de las máquinas cinemáticas paralelas y, en particular, a las máquinas cinemáticas paralelas con alta rigidez.

10

Antecedentes

Existe una necesidad creciente de manipuladores flexibles, que se puede ampliar para trabajar con alta precisión en objetos muy grandes como componentes aeroespaciales y vehículos largos. Los conceptos de manipulador que se utilizan hoy en día se basan en la cinemática en serie, que son manipuladores muy pesados que son monolíticos y no están adaptados para su modularización y flexibilidad. Mayor rigidez o firmeza necesaria para procesos tales como soldadura por fricción, fresado y perforación también aumentan el peso de los manipuladores. Las soluciones utilizadas hoy en día con manipuladores cinemáticos en serie muy pesados para estos procesos implican no solo un alto coste de máquina e instalación, sino también severas limitaciones en la velocidad, aceleración y controlabilidad. Durante muchos años se ha estudiado la cinemática paralela como solución a estos problemas y algunos conceptos prometedores se resumen en el artículo "The Linear Delta: Developments and Applications" de Mohamed Buouri, EPFL, Lausana, presentado en ISR2010 AHMAD AFTAB ET AL: "A model-based and simulation-driven methodology for design of haptic devices" divulga un manipulador cinemático paralelo de seis patas.

15

20

25

Sin embargo, ninguna máquina delta lineal ha tenido éxito hasta ahora en cumplir con los requisitos de la aplicación. Una razón es el diseño de la plataforma movida por los enlaces paralelos conectados entre la plataforma y los accionadores lineales. En la estructura Delta se usa una plataforma plana y las conexiones de los enlaces con articulaciones a la plataforma están determinadas por las superficies planas de los accionadores. No obstante, esto está lejos de ser un diseño de plataforma óptimo con respecto a la rigidez del manipulador.

30

Sumario

La invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

35

Por tanto, un objeto de la divulgación es aliviar al menos algunos de los inconvenientes de la técnica anterior. Un objeto adicional de la divulgación es proporcionar una máquina cinemática paralela, PKM, que tiene una alta rigidez según lo requiera una aplicación. Es un objeto adicional proporcionar un método que determine las características de una PKM de tal manera que tenga una alta rigidez requerida por la aplicación.

40

Estos objetos y otros se consiguen, al menos parcialmente, con la máquina cinemática paralela y el método de acuerdo con las reivindicaciones independientes, y mediante las realizaciones de las reivindicaciones dependientes. En la bibliografía cinemática paralela, la noción de una plataforma se establece como la cara de montaje movida para mover herramientas o equipos, que en la bibliografía sobre manipuladores de robots se denomina brida de extremo para montar una herramienta o efector final. Aquí, la noción cinemática paralela es la base, pero se introducirán diferentes tipos de plataformas, mientras que manipular un efector final montado sigue siendo el objetivo.

45

De acuerdo con un primer aspecto, la divulgación se refiere a un método para determinar la colocación de articulaciones de plataforma de soporte en una plataforma de soporte de un manipulador cinemático paralelo, PKM. La PKM comprende la plataforma de soporte. La PKM comprende además un primer varillaje de soporte que comprende dos o más enlaces de soporte, cada uno configurado para conectarse en un extremo a la plataforma de soporte a través de una articulación de plataforma de soporte, y en el otro extremo configurado para conectarse a un primer carro a través de una articulación de carro. El primer carro se puede mover a lo largo de una primera trayectoria, y el primer varillaje de soporte está dispuesto para transferir un primer movimiento a la plataforma de soporte. La PKM comprende un segundo varillaje de soporte que comprende uno o más enlaces de soporte, cada uno configurado para conectarse en un extremo a la plataforma de soporte a través de una articulación de plataforma de soporte, y en el otro extremo configurado para conectarse a un segundo carro a través de una articulación de carro, en donde el segundo carro se puede mover a lo largo de una segunda trayectoria, y el segundo varillaje de soporte está dispuesto para transferir un segundo movimiento a la plataforma de soporte. La PKM comprende además un tercer varillaje de soporte que comprende dos o más enlaces de soporte, cada uno configurado para conectarse en un extremo a la plataforma de soporte a través de una articulación de plataforma de soporte, y en el otro extremo configurado para conectarse a un tercer carro a través de una articulación de carro en donde el tercer carro es móvil a lo largo de una tercera trayectoria. El tercer varillaje de soporte está dispuesto para transferir un tercer movimiento a la plataforma de soporte. El primer varillaje de soporte, el segundo varillaje de soporte y el tercer varillaje de soporte comprenden juntos al menos cinco enlaces de soporte. El método comprende obtener un modelo cinemático y un modelo de elasticidad de la PKM, y definir fuerzas y/o pares aplicados a una herramienta que está unida a la plataforma de soporte durante una secuencia de procesamiento con la herramienta. El método también comprende obtener una configuración de

50

55

60

65

colocación actual que incluye colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte en relación con la plataforma de soporte. El método también comprende estimar parámetros indicativos de rigidez para la PKM, basándose en los modelos cinemáticos y de elasticidad de la PKM y las fuerzas y/o pares definidos elegidos aplicados a la herramienta durante la secuencia de procesamiento, cuando las articulaciones de plataforma de soporte están
 5 ubicadas en lugares definidos por la configuración de colocación actual sobre la plataforma de soporte. El método comprende adicionalmente comprobar si los parámetros estimados indicativos de rigidez de la PKM cumplen uno o más criterios de rigidez de aplicación. Tras cumplir los parámetros estimados indicativos de rigidez uno o más criterios de rigidez, el método comprende elegir la configuración de colocación actual de las articulaciones de plataforma de soporte como una configuración de colocación óptima de las articulaciones de plataforma de soporte; y también
 10 cambiar una colocación de una o más articulaciones de plataforma de soporte en la configuración de colocación actual y repetir la estimación y comprobación con la configuración de colocación actual modificada.

El método descrito anteriormente proporciona una forma novedosa de mejorar la rigidez de la PKM con respecto a las fuerzas y pares en la herramienta. Al cambiar la colocación de una o más articulaciones de plataforma de soporte, se
 15 cambiará la distribución de fuerzas en los enlaces de soporte y se puede realizar una evaluación de la rigidez de la PKM para encontrar una PKM óptima con respecto a la rigidez. El uso del método da como resultado parámetros de diseño para una PKM con una rigidez aumentada en comparación con otras PKM. La rigidez aumentada implica que, para las fuerzas y pares en la herramienta, la herramienta se desviará menos de la posición programada, tanto con respecto a la posición de la herramienta como a la orientación de la herramienta, o la trayectoria de la herramienta.
 20 En algunas aplicaciones, la rigidez será más importante en una dirección en el sistema de coordenadas de la herramienta y, a continuación, el procedimiento de optimización maximizará la rigidez en esa dirección especial. El método introduce estimaciones de rigidez en la evaluación de la colocación de articulaciones de la PKM. De este modo, la rigidez se puede evaluar para diversas colocaciones de las articulaciones, y la colocación que proporciona la mejor rigidez se puede elegir como la colocación óptima.

De acuerdo con algunas realizaciones, el uno o más criterios de rigidez de la PKM comprenden que un mínimo actual de los parámetros estimados indicativos de rigidez es igual o superior a un valor de rigidez predeterminado. De esta manera, el usuario puede establecer los requisitos en la PKM como un valor de rigidez predeterminado, que puede estar en la dirección del peor caso o una dirección específica en el sistema de coordenadas de herramienta.
 25 30

De acuerdo con algunas realizaciones, el método comprende reemplazar un valor de rigidez mínimo anterior con un mínimo actual de los parámetros estimados indicativos de rigidez, tras un mínimo actual de los parámetros estimados indicativos de que la rigidez es mayor que el valor de rigidez mínimo anterior. Da la posibilidad de realizar un seguimiento del procedimiento de optimización y, por ejemplo, averiguar si se pueden obtener parámetros indicativos de rigidez incluso más bajos al continuar las iteraciones. También se puede usar para comparar la eficiencia de diferentes algoritmos de optimización.
 35

De acuerdo con algunas realizaciones, el uno o más criterios de rigidez comprenden que no se detecta colisión entre un modelo geométrico de los enlaces de soporte y un modelo geométrico de la plataforma de soporte. De esta manera, el sistema se asegurará automáticamente de que las posiciones seleccionadas de las articulaciones de plataforma de soporte se puedan usar sin ninguna colisión entre los enlaces y la plataforma de soporte.
 40

De acuerdo con algunas realizaciones, el uno o más criterios de rigidez comprenden que no se alcanza ningún límite de articulación basándose en las limitaciones obtenidas para las colocaciones de montaje de articulación. Esto asegurará además que el tipo seleccionado de articulaciones funcionará en todo el espacio de trabajo de la PKM.
 45

De acuerdo con algunas realizaciones, la obtención de una configuración de colocación actual que incluye colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte comprende definir las colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte. Esto es importante para evitar óptimos locales en el proceso de optimización, lo que no corresponderá a la mejor solución posible para la colocación de las articulaciones de plataforma de soporte.
 50

De acuerdo con algunas realizaciones, las colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte están limitadas por un cuerpo volumétrico primitivo tal como un cilindro, una caja o una esfera.
 55

Esto simplifica la colocación inicial de las articulaciones de plataforma de soporte.

De acuerdo con algunas realizaciones, el modelo cinemático comprende limitaciones del intervalo de trabajo de las articulaciones de plataforma de soporte. Esto puede ser necesario para asegurarse de que el tipo seleccionado de articulaciones funcionará en todo el espacio de trabajo de la PKM.
 60

De acuerdo con algunas realizaciones, la estimación y la comprobación se realizan automáticamente. Esto ahorrará tiempo y hará que el resultado dependa menos del usuario del sistema.

De acuerdo con algunas realizaciones, la estimación comprende estimar las fuerzas de enlace con el requisito de que la suma de todas las fuerzas que actúan sobre la plataforma de soporte sea cero, y la suma de todos los pares que
 65

actúan sobre la plataforma de soporte sea cero.

De acuerdo con algunas realizaciones, la definición comprende simulación o ejecución de programa real durante la cual se estiman fuerzas y/o pares en la herramienta. Esto hace posible obtener las fuerzas y pares reales en la herramienta para diferentes combinaciones obtenidas de fuerzas y pares en un programa para encontrar las colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte que dan la rigidez aceptada en todo el programa.

De acuerdo con algunas realizaciones, la PKM comprende una base de herramienta que comprende una articulación de árbol, un árbol y una plataforma de herramienta, en donde el árbol está conectado a la plataforma de soporte a través de la articulación de árbol y el árbol también está conectado a la plataforma de herramienta. Cada uno de uno o más varillajes de herramienta comprende un enlace de herramienta conectado en un extremo a través de una articulación de base de herramienta a la base de herramienta, y en el otro extremo conectado a través de una articulación de carro a un carro dispuesto para moverse a lo largo de una trayectoria; y en donde cada varillaje de herramienta está configurado para rotar el árbol alrededor de al menos un eje con respecto a la plataforma de soporte, transfiriendo un movimiento del respectivo varillaje de herramienta al árbol. El método comprende además determinar la colocación de una o más articulaciones de base de herramienta en la base de herramienta. Esto hace posible introducir la rotación de la herramienta con la máxima rigidez para las fuerzas y pares obtenidos en el programa real.

De acuerdo con otro aspecto, la divulgación se refiere a un sistema de acuerdo con la reivindicación 11.

De acuerdo con otro aspecto, la divulgación se refiere a una máquina cinemática paralela, PKM de acuerdo con la reivindicación 12.

Las simulaciones de optimización han demostrado que esta configuración proporciona una alta rigidez, que es aplicable para diferentes aplicaciones. Las colocaciones resultantes obtenidas de las articulaciones de plataforma de soporte, usando el método descrito, hacen posible usar las estructuras principales de PKM en las figuras 1, 15 y 17 con un gran espacio de trabajo para aplicaciones como soldadura por fricción-agitación y procesos de eliminación de material en material duro, que anteriormente solo era posible con máquinas de diseño especial extremadamente pesadas y lentas. Con la rigidez muy alta obtenida con las plataformas de soporte diseñadas de acuerdo con la colocación de las articulaciones de plataforma de soporte obtenidas por el método descrito, las máquinas monolíticas diseñadas especialmente se pueden reemplazar con estructuras modulares de PKM que se pueden transportar en partes y montar e instalar en el sitio de fabricación. Todas las partes móviles serán ligeras y fáciles de manejar y reconfigurar y la estructura modular ligera hará posible obtener una mayor velocidad y aceleración y, por lo tanto, tiempos de ciclo de fabricación más cortos, lo que significa una mayor productividad.

De acuerdo con algunas realizaciones, la segunda distancia es mayor que la primera distancia en la dirección del eje Ysp.

De acuerdo con algunas realizaciones, la PKM comprende un árbol conectado a la plataforma de soporte a través de una articulación de árbol en un punto de conexión, en donde el punto de conexión define un origen del sistema de coordenadas de plataforma de soporte. Esta es una forma de aumentar aún más la rigidez e introducir simultáneamente el control de rotación de la herramienta.

De acuerdo con algunas realizaciones, las articulaciones de plataforma de soporte se colocan en relación con un cuerpo volumétrico primitivo, p. ej., un cilindro, una caja o una esfera, de la plataforma de soporte. Las simulaciones de la optimización han demostrado que se puede obtener una alta rigidez usando tales primitivas.

De acuerdo con algunas realizaciones, la PKM comprende interfaces mecánicas, y en donde las articulaciones de plataforma de soporte están conectadas al cuerpo volumétrico primitivo a través de las interfaces mecánicas. Si los cuerpos volumétricos primitivos no proporcionan suficiente rigidez para la colocación directa de la articulación de plataforma de soporte, se utilizan interfaces mecánicas para aumentar aún más la rigidez. Estas interfaces pueden hacerse entonces muy rígidas.

De acuerdo con algunas realizaciones, la PKM comprende una o más interfaces mecánicas, cada una conectada entre uno de los carros y una o más articulaciones de carro respectivas, y en donde la una o más interfaces mecánicas están diseñadas de tal manera que las articulaciones de plataforma de soporte y las articulaciones de carro están en el medio de sus respectivos intervalos de trabajo de orientación, cuando el cuerpo volumétrico primitivo está centrado en un plano definido por los ejes Yb y Zb en el intervalo de trabajo de la PKM. El diseño de las interfaces mecánicas en los carros hará posible obtener el mejor uso del intervalo de trabajo tanto del soporte como de las articulaciones de carro. Esto significa que se obtendrá el máximo espacio de trabajo de la PKM sin problemas con el intervalo de trabajo de las articulaciones. Por tanto, las interfaces mecánicas están diseñadas y dispuestas para permitir el uso máximo del intervalo de trabajo de las articulaciones para lograr el intervalo de trabajo máximo de la plataforma de soporte.

De acuerdo con algunas realizaciones, el segundo varillaje de soporte comprende dos enlaces de soporte, y las articulaciones de plataforma de soporte del segundo varillaje de soporte se colocan en la plataforma de soporte con una tercera distancia entre sí, en donde la tercera distancia es mayor que la primera distancia. Esto hace posible

aumentar la rigidez de la PKM optimizando la rigidez con respecto a la relación entre la tercera distancia y la primera distancia.

5 De acuerdo con algunas realizaciones, la tercera distancia es mayor que la primera distancia en la dirección del eje Ysp.

10 De acuerdo con algunas realizaciones, el segundo varillaje de soporte comprende dos enlaces de soporte y en donde las articulaciones de plataforma de soporte del segundo varillaje de soporte se colocan más cerca de un plano definido por los ejes Xsp e Ysp que la segunda de las articulaciones de plataforma de soporte del primer varillaje de soporte y la segunda de las articulaciones de plataforma de soporte del tercer varillaje de soporte. Esto hará posible aumentar aún más la rigidez.

15 De acuerdo con algunas realizaciones, en donde la primera de las articulaciones de plataforma de soporte del primer varillaje de soporte y la primera de las articulaciones de plataforma de soporte del tercer varillaje de soporte se colocan más cerca de un plano definido por los ejes Xsp e Ysp que las articulaciones de plataforma de soporte del segundo varillaje de soporte. Esto hará posible aumentar aún más la rigidez.

20 De acuerdo con algunas realizaciones, el segundo varillaje de soporte comprende dos enlaces de soporte, y las articulaciones de plataforma de soporte del segundo varillaje de soporte se colocan en la plataforma de soporte a una distancia del punto de conexión que es menor que la quinta distancia y la séptima distancia, en la dirección del eje Zsp. Esto permitirá aumentar aún más la rigidez

25 De acuerdo con algunas realizaciones, en donde el segundo varillaje de soporte comprende dos enlaces de soporte y en donde una primera de las articulaciones de carro del segundo varillaje de soporte o una segunda de las articulaciones de carro del segundo varillaje de soporte está montada en el primer carro o el tercer carro.

30 De acuerdo con algunas realizaciones, la primera distancia se define por una distancia implementable mínima necesaria para montar la primera de las articulaciones de plataforma de soporte del primer varillaje de soporte y la primera de las articulaciones de plataforma de soporte del tercer varillaje de soporte lo más cerca posible entre sí.

35 De acuerdo con algunas realizaciones, la PKM comprende una o más interfaces mecánicas, cada una dispuesta entre uno de los carros y una articulación de carro respectiva, en donde la una o más interfaces mecánicas están diseñadas para mantener las características cinemáticas de la PKM. Además, los enlaces de soporte del primer varillaje de soporte son paralelos y tienen la misma longitud. Los enlaces de soporte del tercer varillaje de soporte son paralelos y tienen la misma longitud. Los enlaces de soporte del segundo varillaje de soporte son paralelos y tienen la misma longitud.

40 De acuerdo con algunas realizaciones, la PKM comprende un árbol conectado a la plataforma de soporte a través de una articulación de árbol en el punto de conexión. Dado que la articulación de árbol introducirá las fuerzas y los pares desde la herramienta a la plataforma de soporte, es importante para obtener la máxima rigidez, de acuerdo con los resultados del método descrito, que las articulaciones de plataforma de soporte indicadas con 9a/12a estén lo más cerca posible del centro de la articulación de árbol, que por lo tanto, en este caso, debe definirse como el punto de conexión.

45 De acuerdo con algunas realizaciones, la primera de las articulaciones de plataforma de soporte del primer varillaje de soporte y la primera de las articulaciones de plataforma de soporte del tercer varillaje de soporte se colocan con distancias de implementación mínimas a la articulación de árbol. En algunas realizaciones, la plataforma de soporte comprende además una estructura de epoxi reforzada con carbono dispuesta entre las articulaciones de plataforma de soporte. De esta manera, es posible reducir el peso de la plataforma de soporte y aún tener una rigidez tan alta como implementar la plataforma de soporte usando, por ejemplo, componentes de acero.

50 De acuerdo con algunas realizaciones, la PKM comprende una base de herramienta que incluye la articulación de árbol, el árbol y una plataforma de herramienta. El árbol también está conectado a la plataforma de herramienta. La PKM comprende además uno o más varillajes de herramienta, comprendiendo cada uno un enlace de herramienta conectado en un extremo a través de una articulación de base de herramienta a la base de herramienta, y en el otro extremo conectado a través de una articulación de carro a un carro dispuesto para moverse a lo largo de una trayectoria. Un enlace de herramienta de un varillaje de herramienta es paralelo y tiene la misma longitud que uno de los enlaces de los varillajes de plataforma de soporte.

60 Un enlace de herramienta de otro varillaje de herramienta es paralelo y tiene la misma longitud que otro de los enlaces de los varillajes de plataforma de soporte. Las articulaciones de base de herramienta se montan lo más cerca posible entre sí.

65 De acuerdo con algunas realizaciones, donde la primera distancia es menor que la segunda distancia, o la segunda distancia es menor que la primera distancia.

De acuerdo con algunas realizaciones, la PKM comprende una base de herramienta que incluye la articulación de árbol, el árbol y una plataforma de herramienta. El árbol también está conectado a la plataforma de herramienta. La PKM comprende además uno o más varillajes de herramienta, comprendiendo cada uno un enlace de herramienta conectado en un extremo a través de una articulación de base de herramienta a la base de herramienta, y en el otro extremo conectado a través de una articulación de carro a un carro dispuesto para moverse a lo largo de una trayectoria. Cada varillaje de herramienta está configurado para girar el árbol alrededor de al menos un eje en relación con la plataforma de soporte, transfiriendo un movimiento del respectivo varillaje de herramienta al árbol. Las articulaciones de base de herramienta se montan lo más cerca posible entre sí.

De acuerdo con algunas realizaciones, la plataforma de soporte está diseñada de acuerdo con las colocaciones óptimas de las articulaciones de plataforma de soporte.

De acuerdo con algunas realizaciones, la plataforma de soporte comprende un accionador entre las articulaciones de plataforma de soporte. De esta manera, no se necesita desplazamiento en la dirección Zsp para el accionador, lo que se logra cuando el accionador se monta en la parte delantera de la plataforma de soporte. Un desplazamiento más pequeño en la dirección Zsp reducirá los pares en la plataforma de soporte y, por tanto, aumentará la rigidez. El accionador puede ser parte de una muñeca o usarse para girar una herramienta.

De acuerdo con algunas realizaciones, el accionador está conectado a una herramienta. De esta manera, no se necesita desplazamiento en la dirección Zsp para un accionador, que se usa para accionar una herramienta, y aumentará la rigidez con respecto a las fuerzas y pares de la herramienta.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra una PKM de acuerdo con una realización.

La figura 2 define un enlace con articulaciones en los extremos del enlace, de acuerdo con una realización.

La figura 3 ilustra un ejemplo de una plataforma de soporte tridimensional (3D) que puede implementarse como un cilindro con interfaces mecánicas. En esta figura se definen una plataforma de soporte y un sistema de coordenadas de herramienta.

La figura 4A ilustra un esquema de módulos implementables por ordenador configurados para realizar el método.

La figura 4B ilustra un sistema que comprende un ordenador configurado para implementar los módulos de la figura 4A.

Las figuras 5-7C ilustran métodos para determinar la colocación de articulaciones de plataforma de soporte de acuerdo con algunas realizaciones de la divulgación.

La figura 8 define parámetros en el sistema de coordenadas de plataforma usado para definir y optimizar las colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte y para definir un diseño general de plataforma de soporte, de acuerdo con una realización.

La figura 9 define parámetros en el plano XspZsp del sistema de coordenadas de plataforma para describir un método de optimización estructurado para la colocación de las articulaciones de plataforma de soporte.

La figura 10 define un subespacio de los parámetros en la figura 9 para simplificar el proceso de optimización.

Las figuras 11 A-11B ilustran diferentes realizaciones de una articulación de plataforma de soporte.

La figura 11C ilustra una realización de una articulación de árbol.

La figura 12 ilustra una implementación del tipo de articulación de la figura 11A.

Las figuras 13A-14B ilustran diferentes ejemplos de colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte a plataformas de soporte.

La figura 15 ilustra una PKM con un conjunto alternativo de enlaces de soporte que la realización de la figura 1.

Las figuras 16A-16B ilustran configuraciones de articulación de plataforma de soporte para la PKM en la figura 15 de acuerdo con algunas realizaciones.

La figura 17 ilustra una PKM con una base de herramienta de acuerdo con una realización.

La figura 18A ilustra una plataforma de soporte que está diseñada basándose en las colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte y una base de herramienta conectada a las mismas.

Las figuras 18B-18C ilustran colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte a una plataforma de soporte y articulaciones de plataforma de herramienta a una plataforma de herramienta de acuerdo con algunas realizaciones.

La figura 19A ilustra una sección de una guía lineal con dos apoyos de montaje de guía, de acuerdo con algunas realizaciones.

La figura 19B ilustra los componentes utilizados para obtener fácilmente un montaje de alta precisión de la guía, de acuerdo con algunas realizaciones.

La figura 20A ilustra una guía dispuesta en apoyos de sujeción de guía, de acuerdo con algunas realizaciones.

La figura 20B ilustra una sección transversal a lo largo de A - A del apoyo de montaje de guía en la figura 20A.

La figura 21A ilustra una guía montada, de acuerdo con algunas realizaciones.

La figura 21B ilustra una guía montada en pilares, de acuerdo con algunas realizaciones.

La figura 22 ilustra el mismo concepto de montaje de guía que se ilustra en las figuras 19A-20B, sino que se monta en un techo.

La figura 23 ilustra tres guías montadas en el techo.

Descripción detallada

Lo siguiente describe un método para determinar la colocación de articulaciones de una PKM, un sistema que comprende un ordenador configurado para realizar el método y para generar una configuración de colocación óptima, y una PKM con articulaciones que se colocan en la plataforma de acuerdo con la configuración de colocación óptima emitida por el ordenador, y una PKM con articulaciones que se han colocado en relación con su plataforma de tal manera que se pueda lograr una alta rigidez. El método estima la rigidez de la PKM para varias colocaciones posibles de las articulaciones, específicamente las articulaciones de plataforma de soporte, para cumplir con los requisitos sobre el suministro de ciertas fuerzas y pares con una alta rigidez relacionada para desviaciones mínimas de la herramienta en aplicaciones de proceso como la soldadura por fricción-agitación. Es decir, el método determina las colocaciones de las articulaciones que proporcionan una alta rigidez, posibilitando así la aplicación. A partir de entonces, se puede diseñar una plataforma de soporte que coincida con las colocaciones determinadas de las articulaciones de plataforma de soporte. Los enlaces se unen por medio de articulaciones de plataforma de soporte en la plataforma de soporte, independientemente de la geometría de los carros. Esto significa que las geometrías de los carros deben adaptarse a la estructura de la colocación óptima de las articulaciones de plataforma de soporte en la plataforma de soporte y no al revés. La razón por la que esta es la mejor estrategia es que es fácil obtener una alta rigidez del accionador para una geometría de carro adaptada a las colocaciones de las articulaciones en la plataforma de soporte. Un carro típico se desplaza sobre una guía que usa cojinetes lineales de muy alta rigidez y los pares obtenidos de las articulaciones del carro montadas con un desplazamiento del plano del carro solo harán una reducción menor de la rigidez general de la PKM. Si las articulaciones de la plataforma de soporte se colocan para evitar desplazamientos entre las articulaciones de carro y los planos del carro, daría como resultado una pérdida mucho mayor en la rigidez general de la PKM. Por ende, con la técnica propuesta se puede diseñar una PKM que tenga una alta rigidez adaptada para una aplicación de proceso definida, por lo que el proceso puede llevarse a cabo con mayor precisión. Las técnicas descritas hacen posible reemplazar máquinas de diseño especial usadas anteriormente con estructuras PKM que se instalan y operan más fácilmente, para realizar trabajos que requieren alta rigidez y gran espacio de trabajo.

Una PKM es generalmente un sistema mecánico que comprende una pluralidad de varillajes para soportar y mover una plataforma. Cada uno de los enlaces comprende uno o más enlaces y los enlaces son típicamente rígidos. Esto proporciona una alta rigidez, lo que es una gran ventaja en la mayoría de las aplicaciones. Todavía, los enlaces pueden estar hechos de un material ligero, de modo que la PKM puede cambiar la posición y orientación de la herramienta muy rápido.

Un modelo cinemático es una descripción matemática de las relaciones entre posiciones y velocidades de las diferentes partes móviles de la PKM. Específicamente, la cinemática delantera es la relación entre los movimientos de los accionadores y el movimiento del efector final, mientras que la cinemática inversa es el movimiento del efector final y los movimientos de los accionadores. El efector final es típicamente una herramienta unida a la PKM. La posición de la herramienta está definida por un TCP, Punto central de herramienta.

Un modelo de elasticidad es una descripción matemática de las relaciones entre fuerzas y momentos aplicados a los componentes de la PKM y los movimientos resultantes de la PKM debido a la adaptabilidad de la estructura de PKM y sus componentes. Especialmente importante es la relación entre las fuerzas y los momentos en el TCP y los movimientos de conformidad resultantes del TCP.

Un modelo geométrico es una descripción matemática de las geometrías de objetos incluidos en la PKM. Especialmente importantes son las coordenadas de las superficies de los objetos para poder calcular cuándo tienen lugar las colisiones entre los objetos.

La rigidez de una PKM es la relación entre las fuerzas y los momentos aplicados en el TCP y los movimientos de adaptabilidad resultantes del TCP. Las fuerzas y momentos (F_x , F_y , F_z , M_x , M_i , M_z) se definen generalmente en un sistema de coordenadas de herramienta cartesianas y los movimientos compatibles resultantes del TCP (dx , dy , dz , dR_x , dR_y , dR_z) se describen habitualmente como las desviaciones posicionales y las desviaciones rotacionales del Sistema de Coordenadas de Herramienta. En muchas aplicaciones, la rigidez se puede aproximar por la cuota entre la fuerza total y la desviación posicional total.

Una colocación de articulación significa que cada articulación (número i) se coloca en una posición (X_{ij} , Y_{ij} , Z_{ij}) en un sistema de coordenadas cartesianas, por ejemplo, en el sistema de coordenadas de la plataforma. Se supone que una colocación aquí es una ubicación estática con respecto a alguna parte de la máquina, pero en el caso de mecanismos que por accionamiento mueven esa ubicación, el método se puede aplicar a todas las ubicaciones posibles y, por lo tanto, las ubicaciones estáticas son suficientes para el método.

Una fuerza se define por sus tres componentes en un sistema de coordenadas cartesianas (F_x , F_y , F_z). A veces se usa la fuerza total (raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los tres componentes de fuerza cartesiana). En las simulaciones, los componentes de fuerza en la herramienta pueden obtenerse a partir de un modelo del proceso aplicado, o registrarse a partir de mediciones físicas, y luego aplicarse en puntos de muestreo a lo largo de una trayectoria o en puntos en una matriz del espacio de trabajo. Los valores de fuerza registrados se usan a continuación en el proceso de optimización.

Un par o momento se define por sus tres componentes en un sistema de coordenadas cartesianas (M_x , M_i , M_z). En las simulaciones, los componentes de momento en la herramienta debido al proceso aplicado se registran en puntos de muestreo a lo largo de una trayectoria o en puntos en una matriz del espacio de trabajo. Los valores de momento registrados se usan a continuación en el proceso de optimización. En algunas aplicaciones, los momentos son insignificantes y solo se registran fuerzas para la optimización.

En la presente divulgación, se usan las mismas referencias para las mismas características en todas las figuras y las referencias a veces no se repetirán si ya se han mencionado.

La figura 1 ilustra una PKM sin una plataforma de soporte. Una plataforma de soporte 17 para su uso en la PKM de la figura 1 se ilustra en su lugar en la figura 3. La PKM en la figura 1 y la plataforma de soporte en la figura 3 ilustran juntas una realización de la divulgación. Se pretende que la plataforma de soporte 17 se diseñe usando el método para determinar la colocación de las articulaciones de plataforma de soporte, por lo que se puede decidir una forma óptima de la plataforma de soporte 17 con respecto a la rigidez y accesibilidad que coincida con las colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte de tal manera que se pueda realizar una conexión fiable de las articulaciones de plataforma de soporte a la plataforma de soporte 17. En lo siguiente, se describirá la estructura de la PKM.

La PKM se acciona por medio de accionadores. Cada accionador comprende una trayectoria 1, 2, 3, en la que se mueve un carro 4, 5, 6 por medio de un equipo de accionamiento como, por ejemplo, un sistema de piñón y cremallera o un sistema de husillo de bolas (no mostrado). Por tanto, un primer carro 4 se mueve en una primera trayectoria 1, un segundo carro 5 se mueve en una segunda trayectoria 2, y un tercer carro 6 se mueve en una tercera trayectoria 3. Una trayectoria es, por ejemplo, una guía. La trayectoria suele ser lineal, pero en su lugar puede tener una forma curvada. Para aplicaciones que necesitan manipulación de alta rigidez, accionadores tales como husillos de bolas accionados por motor, soluciones de piñón y cremallera o de accionamiento directo se pueden utilizar para mover los carros a lo largo de las trayectorias. Dicho de otra forma, en algunas realizaciones, la PKM comprende un primer accionador 201 para mover el primer carro 4 a lo largo de la primera trayectoria 1, un segundo accionador 202 para mover el segundo carro 5 a lo largo de la segunda trayectoria 2, y un tercer accionador 203 para mover el tercer carro 6 a lo largo de la tercera trayectoria 3. En caso de más carros, la PKM comprende accionadores para mover también estos carros a lo largo de las trayectorias. En la figura 1, las trayectorias están montadas en un marco, no mostrado en la figura, de tal forma que las tres trayectorias son trayectorias paralelas lineales. Por ende, en algunas realizaciones, la primera trayectoria 1, la segunda trayectoria 2 y la tercera trayectoria 3 son paralelas. Una trayectoria (aquí la segunda trayectoria 2) está colocada entre las otras dos trayectorias (aquí la primera trayectoria 1 y la tercera trayectoria 3). Las trayectorias 1, 2, 3 están definidas en un sistema de coordenadas de base 7b. Este sistema de coordenadas tiene su eje X_b paralelo a las trayectorias 1-3, y el eje Z_b es perpendicular al plano definido por la primera trayectoria 1 y la tercera trayectoria 3. En la figura 1, los ejes del sistema de coordenadas de base 7b son paralelos a los ejes correspondientes del sistema de coordenadas universal 7a. Sin embargo, dependiendo de los requisitos de instalación y aplicación, las trayectorias se pueden montar de diferentes maneras, por ejemplo, con el sistema de coordenadas de base girado alrededor de los ejes Z_w o X_w del sistema de coordenadas universal 7a. La segunda trayectoria 2 está en la figura montada en un valor Z_b negativo 6c, haciendo posible obtener un espacio de trabajo 6b que llega hasta el plano definido por la primera trayectoria 1 y la tercera trayectoria 3 (a valores de Z_b bajos). El segundo carro 5 se ilustra en dos posiciones diferentes $SL2_P1$ y $SL2_P2$, que ilustran dos modos de montaje diferentes de la máquina. Generalmente, es posible obtener mayor rigidez cuando el segundo carro 5 está en el modo de montaje ilustrada con la posición $SL2_P1$ que en $SL2_P2$, pero entonces las trayectorias deben ser más largas para el mismo espacio de trabajo en la dirección X_b . Para objetos de trabajo muy largos tales como fuselajes y alas de aviones, trenes, palas para energía eólica, componentes de construcción, etc., sin embargo, la diferencia en la longitud de la trayectoria no será tan importante y en estas aplicaciones el modo de montaje de carro debe ser como se ilustra con el segundo carro 5 en la posición $SL2_P1$, donde el segundo carro 5 está en el lado opuesto de la plataforma de base 17 en la dirección X_b en comparación con el primer y tercer carros 4 y 6. Al utilizar el modo de montaje de acuerdo con la posición $SL2_P2$ la distancia 6c, por tanto, el desplazamiento de la segunda trayectoria 2 en la dirección Z_b negativa, debe ser lo suficientemente grande para obtener una alta rigidez. En el modo de montaje de acuerdo con la posición $SL2_P1$ es posible montar la trayectoria media (segunda) 2 con valores inferiores de la distancia 6c y también es posible tener la distancia 6c en la dirección Z_b negativa igual a cero. En este caso, el espacio de trabajo 6b de la PKM, que es paralelo al plano Y_bZ_b , no será útil con valores de Z_b bajos debido a las altas fuerzas de los enlaces y, por lo tanto, a la baja rigidez. Sin embargo, será más fácil implementar el marco para las trayectorias cuando todas las trayectorias estén en el mismo plano. También, el marco para montar los accionadores lineales será más sencillo e incluso será posible montar las trayectorias directamente en el suelo, en una pared o en el techo.

La PKM en la figura 1 también comprende un primer varillaje de soporte $SL1$, un segundo varillaje de soporte $SL2$ y un tercer varillaje de soporte $SL3$. Cada uno de los varillajes de soporte $SL1$, $SL2$, $SL3$ está configurado para conectarse entre uno de los carros 4, 5, 6 mencionados y una plataforma de soporte 17, por ejemplo, la plataforma de soporte 17 ilustrada en la figura 3. El primer varillaje de soporte $SL1$ comprende aquí dos enlaces de soporte 8, 9. Cada uno de los dos enlaces de soporte 8, 9 está configurado para conectarse en un extremo a la plataforma de soporte 17 a través de una articulación de plataforma de soporte 8a, 9a, y en el otro extremo conectado (por tanto, también configurado para conectarse a) al primer carro 4 a través de una articulación de carro 8b, 9b. Como se ha

mencionado, el primer carro 4 se puede mover a lo largo de la primera trayectoria 1, y el primer varillaje de soporte SL1 está dispuesto para transferir un primer movimiento a la plataforma de soporte 17, cuando se conecta a la misma. El segundo varillaje de soporte SL2 comprende uno o más enlaces de soporte 10, 11, aquí dos enlaces de soporte 10, 11. Cada uno de los uno o más enlaces de soporte 10, 11 está configurado para conectarse en un extremo a la plataforma de soporte 17 a través de una articulación de plataforma de soporte 10a, 11a, y en el otro extremo conectado (por tanto, configurado para conectarse a) al segundo carro 5 a través de una articulación de carro 10b, 11b. Como se ha mencionado, el segundo carro 5 se puede mover a lo largo de una segunda trayectoria 2, y el segundo varillaje de soporte SL2 está dispuesto para transferir un segundo movimiento a la plataforma de soporte 17, cuando se conecta a la misma. El tercer varillaje de soporte (SL3) comprende uno o más enlaces de soporte 12, 13, aquí dos enlaces de soporte 12, 13. Cada enlace de soporte 12, 13 está configurado para conectarse en un extremo a la plataforma de soporte 17 a través de una articulación de plataforma de soporte 12a, 13a, y en el otro extremo conectado (por tanto, configurado para conectarse a) al tercer carro 6 a través de una articulación de carro 12b, 13b. Como se ha mencionado, el tercer carro 6 se puede mover a lo largo de una tercera trayectoria 3, y el tercer varillaje de soporte SL3 está dispuesto para transferir un tercer movimiento a la plataforma de soporte 17 cuando se conecta allí. El primer varillaje de soporte SL1, el segundo varillaje de soporte SL2 y el tercer varillaje de soporte SL3 comprenden juntos seis enlaces de soporte 8, 9, 10, 11, 12, 13. Sin embargo, en otras alternativas, el primer varillaje de soporte SL1, el segundo varillaje de soporte SL2 y el tercer varillaje de soporte SL3 comprenden juntos cinco enlaces de soporte 8, 9, 10, 12, 13. El primer movimiento, el segundo movimiento y el tercer movimiento posicionan la plataforma de soporte 17 en un sistema de coordenadas de base Xb, Yb, Zb (7b), del que el eje X Xb es paralelo a la dirección de al menos una de la primera trayectoria 1, la segunda trayectoria 2 y la tercera trayectoria 3, y el eje Z Zb está en una dirección de una normal de un plano definido por al menos dos de la primera trayectoria 1, la segunda trayectoria 2 y la tercera trayectoria 3. El eje Y Yb es ortogonal al eje X Xb y al eje Z Zb (véase, por ejemplo, la figura 1, 7b).

En la figura 1, el primer carro 4 está provisto de una primera interfaz mecánica 14. El tercer carro 6 está provisto de una segunda interfaz mecánica 15. En realizaciones alternativas, los carros no están provistos de tales interfaces mecánicas. Una finalidad de estas interfaces es adaptar el montaje del carro de las articulaciones de carro 8b, 9b, 12b, 13b a los enlaces de soporte 8, 9, 12, 13 del primer varillaje de soporte SL1 y del tercer varillaje de soporte SL3 para un montaje óptimo de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 12a, 13a, en la plataforma de soporte 17. Esto se hace bajo los requisitos de que para cada carro los dos enlaces conectados al mismo de un varillaje de soporte SL1, SL3 deben estar paralelos y tener la misma longitud. Por tanto, uno o más del primer varillaje de soporte SL1, el segundo varillaje de soporte SL2 y el tercer varillaje de soporte SL3 comprende dos enlaces de soporte paralelos. Los dos enlaces de soporte paralelos tienen la misma longitud. En la figura 1, cada enlace de soporte tiene dos enlaces que son paralelos y tienen la misma longitud. Aunque no se ilustra, también el segundo carro 5 puede estar provisto de una interfaz mecánica, y el mismo requisito es entonces aplicable también para el segundo varillaje de soporte SL2 conectado al mismo. Como se ha señalado anteriormente, los cojinetes entre los carros 4, 5, 6 y las trayectorias 1, 2, 3 pueden hacerse muy rígidos, por lo que no es un problema desde el punto de vista de la rigidez introducir desplazamientos entre las articulaciones de carro y una interfaz de montaje del carro mecánico estándar. Es más importante adoptar posiciones de montaje óptimas de las articulaciones de plataforma de soporte en la plataforma de soporte 17.

La figura 2 ilustra uno de los seis enlaces de la figura 1. Cada enlace está unido (opcionalmente a través de una interfaz mecánica) a uno de los carros con una articulación de carro Na que tiene tres grados de libertad (DOF) y a la plataforma de soporte 17 con una articulación de plataforma de soporte Nb que tiene dos o tres DOF. En algunas realizaciones, por ejemplo, cuando se usan articulaciones esféricas, también la articulación de plataforma de soporte tiene tres DOF. "N" aquí representa cualquiera de los números de las referencias de articulaciones.

Al diseñar la plataforma de soporte 17, es una ventaja comenzar con un modelo de una PKM, por ejemplo la PKM en la figura 1, por tanto, una PKM sin la plataforma de soporte 17, y encontrar la colocación óptima de las seis (o cinco) articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a y, posteriormente, hacer coincidir la geometría de la plataforma mecánica, incluyendo también en algunas realizaciones interfaces de articulación mecánica, con la colocación óptima de la articulación. A continuación, un método para determinar la colocación de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a se describirá, con referencia a los módulos esquemáticos en la figura 4A, y los diagramas de flujo en las figuras 5-7C. También, la colocación de otras articulaciones de la PKM puede determinarse usando el método, pero el enfoque aquí está principalmente en las articulaciones de plataforma de soporte.

La figura 3 ilustra una plataforma de soporte tridimensional (3D) 17 con articulaciones de plataforma de soporte montadas 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a. En este caso, la plataforma de soporte 17 es simplemente un cilindro con interfaces mecánicas externas 18, 19, 20 para adaptar la geometría de cilindro simple a las colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a. La plataforma de soporte 17 aquí tiene una cara frontal 150 y una cara posterior opuesta (no mostrada). La plataforma de soporte 17 comprende un accionador de proceso (no mostrado), al que se conecta una herramienta 22 a través de un árbol de herramienta 71a. La figura 3 también define un sistema de coordenadas de plataforma de soporte 23 con los ejes Xsp, Ysp y Zsp, y el sistema de coordenadas de herramienta 24 con los ejes Xt, Yt y Zt. El sistema de coordenadas de plataforma de soporte 23 tiene su origen en o dentro de un punto de conexión 23a. El punto de conexión 23a puede definirse (como un centro de) en

una cara frontal 150 de la plataforma de soporte 17. El eje Zsp está en una dirección normal a la cara frontal 150. Los ejes del sistema de coordenadas de soporte 23 pueden definirse para que sean paralelos a los ejes del sistema de coordenadas de base 7a. Dentro de la plataforma de soporte cilíndrica 17, el accionador de proceso como, por ejemplo, un motor de husillo puede montarse para accionar un árbol de herramienta 21, en el que está montada la herramienta 22. La optimización de las posiciones de unión de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a se realiza con las fuerzas y/o pares reales o simulados que actúan sobre la herramienta para el proceso específico cuando la herramienta se mueve a diferentes posiciones en el espacio de trabajo de la PKM de acuerdo con el programa especificado.

Las figuras 4-7C ilustran realizaciones de un método para determinar la colocación de articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a en una plataforma de soporte de una PKM. La PKM es, por ejemplo, la PKM como se ilustra en la figura 1, y la plataforma de soporte es, por ejemplo, la plataforma de soporte 17 ilustrada en la figura 3. Debe entenderse que cuando se realiza el método, se usan diferentes modelos de la PKM para encontrar colocaciones óptimas de las articulaciones. Especialmente importantes son el modelo cinemático y el modelo de elasticidad.

La figura 4A ilustra módulos implementables por ordenador configurados para implementar las realizaciones del método. Los módulos comprenden un módulo de optimización OptMod, un módulo de motor de geometría de diseño asistido por ordenador (CAD) CAD_GEM y un módulo de calculadora de rigidez SCM. El OptMod comprende un programa informático configurado para realizar el método junto con el CAD_GEM y el SCM. El CAD_GEM es, por ejemplo, un sistema CAD tradicional, configurado para realizar cálculos geométricos y cinemáticos. El SCM está configurado para estimar parámetros indicativos de rigidez de la PKM en una configuración actual. El SCM está configurado para comunicarse con el CAD_GEM a través del OptMod. Los módulos pueden implementarse por un ordenador 400 (véase la figura 4B) en software y/o hardware. El ordenador 400 comprende un procesador y una memoria. La memoria comprende instrucciones informáticas configuradas para realizar el método de acuerdo con una cualquiera de las realizaciones descritas en el presente documento, cuando el procesador ejecuta las instrucciones informáticas. En algunas realizaciones, el ordenador 400 está configurado para recibir datos de sensor de uno o más sensores de fuerza o par 410 dispuestos para medir fuerzas o pares, respectivamente, aplicados a una herramienta 22 unida a la plataforma de soporte 17 durante la secuencia de procesamiento con la herramienta 22. El ordenador 400 puede configurarse para visualizar el resultado del método en una pantalla 420 conectada al ordenador. El resultado es, por ejemplo, la salida del modelo del CAD_GEM, tales como modelos CAD, detalles del modelo en colisiones, o un modelo de máquina completo de la PKM. Otros resultados son, por ejemplo, parámetros de salida del OptMod, tal como uno o más de rigidez media, rigidez promedio, desviación media de posición de TCP, desviación máxima de posición de TCP, desviación media de inclinación de la herramienta, desviación máxima de inclinación de la herramienta, mapa de rigidez sobre el espacio de trabajo, fuerzas de enlace medias, fuerzas de enlace máximas, enlaces con las fuerzas más altas, fuerzas medias del accionador, fuerzas máximas del accionador, fuerzas más altas de los accionadores, fuerzas medias de los carros en el marco y fuerzas máximas de los carros en el marco.

La mayoría de, o todas, las etapas del método se pueden realizar automáticamente. En algunas realizaciones, el operador hace un diseño inicial, por ejemplo, siguiendo las reglas de las figuras 8, 9 y 10 en combinación con todas las limitaciones mecánicas de las que el operador es consciente. A continuación, el OptMod toma el control para mejorar el diseño inicial y puede seguir una iteración entre el OptMod y el operador para mejorar adicionalmente el resultado. El operador puede dar una o más de las siguientes como entradas de operador al CAD_GEM: ajustes de parámetros, modificaciones de modelos, colocación inicial de articulaciones de plataforma de soporte y modelos de interfaz mecánica. En algunas realizaciones, al menos los procesos de estimación S1 y de comprobación S2 que se explicarán a continuación se realizan automáticamente.

Se necesita una pluralidad de datos antes de que pueda comenzar el método de optimización. Por ejemplo, el método comprende obtener S0a un modelo cinemático de la PKM. Normalmente, el operador define el modelo cinemático de la PKM usando modelos CAD de los componentes incluidos en la PKM, es decir, la plataforma de soporte, las articulaciones, carros, trayectorias, enlaces, herramienta, etc., en el CAD_GEM. La rigidez de los componentes críticos también se puede calcular y almacenar. En algunas realizaciones, el modelo cinemático comprende limitaciones del intervalo de trabajo de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a, y en algunas otras realizaciones también de otras articulaciones. El operador conecta los componentes y define las colocaciones o posturas de los sistemas de coordenadas, las colocaciones de las trayectorias (p. ej., los valores Yb y Zb de las trayectorias) y las colocaciones de las articulaciones para obtener un diseño inicial de la máquina en el medio del espacio de trabajo. Cuando un modelo CAD inicial completo que incluye un modelo de elasticidad está listo en el CAD_GEM, se envía un conjunto de parámetros reducido para los modelos cinemático y de elasticidad al módulo de optimización, OptMod.

El método también comprende definir fuerzas y/o pares S0b aplicados a una herramienta 22 unida a la plataforma de soporte 17 durante una secuencia de procesamiento con la herramienta 22. Las fuerzas y/o pares pueden definirse en un Punto central de herramienta (TCP). El TCP se establece típicamente por el operador. En algunas realizaciones, el S0b de definición comprende simulación o ejecución de programa real durante la cual se estiman fuerzas y/o pares en la herramienta 22. Simulación significa que la secuencia de procesamiento se simula usando un modelo de la PKM y la herramienta, y se estiman las fuerzas y/o pares aplicados a la herramienta durante la simulación. Estas fuerzas

y/o pares pueden usarse posteriormente en la optimización. La ejecución real del programa aquí significa que una PKM física real se usa para ejecutar el programa de aplicación, durante cuya ejecución se miden las fuerzas y/o pares en la herramienta. Por tanto, se pueden disponer sensores reales para detectar las fuerzas y/o pares aplicados a la herramienta durante la secuencia de procesamiento usando una PKM real que ejecuta un programa.

5 Para iniciar la optimización, es beneficioso si se pueden proporcionar valores iniciales de las colocaciones de las articulaciones. Por tanto, el método comprende obtener S0c una configuración de colocación actual que incluye colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a en relación con la plataforma de soporte 17. Las colocaciones iniciales son, por ejemplo, cualquiera de las colocaciones que se ilustran en las figuras 9-10. En algunas realizaciones, las colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte 10 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a están limitadas por un cuerpo volumétrico primitivo 110 que tiene una forma volumétrica primitiva tal como un cilindro, una caja o una esfera. Esta forma también se visualiza en las figuras 12, 13B-13C, 14B o 16B. Por tanto, las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a se colocan en relación con un cuerpo volumétrico primitivo tal como un cilindro, una caja o una esfera, de la plataforma de soporte 17. Las 15 articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a pueden colocarse entonces en lugares predeterminados a lo largo del cuerpo volumétrico primitivo. Dicho de otra forma, las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a pueden colocarse en lugares predeterminados en una geometría tridimensional. La configuración de colocación actual que incluye colocaciones iniciales se define, por ejemplo, por un operador.

20 El operador puede establecer inicialmente las articulaciones a las colocaciones iniciales en el modelo CAD de la PKM. Alternativamente, la colocación de las articulaciones en la colocación inicial se realiza automáticamente por el programa de optimización. Con articulaciones se entiende aquí las articulaciones de plataforma de soporte y, opcionalmente, las articulaciones de carro y cualquier otra articulación, por ejemplo, cuando se usa una base de herramienta. Por tanto, en algunas realizaciones, obtener S0c una configuración de colocación actual que incluye 25 colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a comprende definir las colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a. En algunas realizaciones, la obtención S0C también comprende obtener una colocación inicial del TCP. El TCP se coloca típicamente en el medio del espacio de trabajo 6b. El OptMod (véase la figura 4A) envía parámetros cinemáticos iniciales al SCM antes de que comience la iteración, p. ej., las colocaciones iniciales de las articulaciones y el TCP. 30 En algunas realizaciones, la obtención S0c también comprende la obtención de otros parámetros iniciales cinemáticos, tales como las colocaciones iniciales de articulaciones de carro. También, estos parámetros se envían a continuación desde el OptMod al SCM. Todos los parámetros cinemáticos iniciales pueden definirse en el sistema de coordenadas de plataforma. Si una muñeca, también denominada base de herramienta, está montada en la plataforma de soporte 17, también se incluye la cinemática de la muñeca. Los parámetros iniciales también pueden incluir los parámetros 35 indicativos de rigidez, p. ej., valores de rigidez, de los componentes, tal como las articulaciones, enlaces, piezas de plataforma, carros y, en el caso de una muñeca, también la rigidez de la muñeca. En algunas realizaciones, el método comprende obtener S0d limitaciones para colocaciones de montaje de articulaciones.

40 El OptMod también puede obtener parámetros de entrada D1 que incluyen uno o más de límites de espacio de trabajo, densidad de matriz de posición (por tanto, densidad de posturas en una matriz de posición), ángulos de articulación máximos permitidos, área o volumen permitido para movimientos articulares, para no interferir con la plataforma de soporte 17, número máximo de etapas de optimización (o mejoras mínimas por etapa), y parámetros de especificación de rigidez tales como especificaciones de rigidez mínima y especificaciones de rigidez media. La especificación de rigidez mínima, por ejemplo, incluye un valor de rigidez predeterminado que define la rigidez objetivo para la PKM. 45 Estos parámetros se introducirán en el sistema por el operador directamente o, como alternativa, a través del CAD_GEM. En el último caso, estos parámetros de entrada se incluyen en los datos D1 en la figura 4A. Los movimientos de articulación máximos permitidos durante la optimización son, por ejemplo, desviaciones máximas permitidas en las direcciones Xsp, Ysp, Zsp desde las colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte. Por tanto, los siguientes parámetros deben conocerse con respecto a la aplicación para la que se usará la 50 PKM:

- El espacio de trabajo y las preferencias de orientación (para algunos procesos de aplicación, p. ej., soldadura, donde la herramienta debería tener una cierta orientación) para la herramienta en el sistema de coordenadas base 7.
- La relación entre el sistema de coordenadas de herramienta 24 y el sistema de coordenadas de plataforma de soporte 23.
- Fuerzas y/o pares en el sistema de coordenadas de herramienta 24.
- Desviaciones de posición máximas permitidas debido al cumplimiento de PKM en las direcciones x, y y z de un sistema de coordenadas definido, como, por ejemplo, el sistema de coordenadas base 7.
- Máximo de errores de orientación de herramienta permitidos alrededor de los ejes x, y y z de, por ejemplo, el 60 sistema de coordenadas de herramienta 24.

También es beneficioso conocer las restricciones para la PKM, tales como:

- Rigidez de enlaces y articulaciones.
- Rigidez de la estructura de plataforma.
- Rigidez de los accionadores lineales y del sistema de trayectoria.
- Rigidez del marco en el que se montan las trayectorias (guías).

- Geometría de la plataforma de soporte (para evitar colisiones de enlace).

5 Cuando se han llevado a cabo las etapas iniciales necesarias, el método comienza con la realización del método de optimización. Durante la optimización, y como se ejemplificará al explicar las etapas del método, los diferentes módulos OptMod, CAD_GEM y SCM intercambian datos y otra información. Por ejemplo, el CAD_GEM envía uno o más de los datos D1 al OptMod. El OptMod puede enviar datos D2 tales como nuevas colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte, indicadores de optimización (listo, error, etc.) o parámetros de salida de optimización para su indicación en el modelo CAD, al CAD_GEM. El SCM puede enviar datos D3 tales como valor de rigidez, desviación de posición de TCP, desviación de inclinación de la herramienta, fuerzas de enlace, fuerzas de accionador, fuerzas de marco o indicador de error al CAD_GEM. El OptMod puede enviar datos D4 tales como una o más de fuerzas y pares en TCP, parámetros del modelo cinemático, valores de rigidez de los componentes, colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte, colocaciones de articulaciones de carro, TCP y cinemática de muñeca opcional.

15 El método comprende estimar los parámetros S1 indicativos de rigidez para la PKM, basándose en el modelo cinemático y el modelo elástico de la PKM y las fuerzas y/o pares definidos elegidos aplicados a la herramienta durante la secuencia de procesamiento, cuando las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a están ubicadas en lugares definidos por la configuración de colocación actual sobre la plataforma de soporte 17. La primera vez que se realiza la estimación, la configuración de colocación actual incluye las colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte. La configuración de colocación actual es, por tanto, la configuración de colocación actual de las articulaciones en el modelo CAD. Las fuerzas y/o pares definidos elegidos son un subconjunto de todas las fuerzas y/o pares aplicados a la herramienta durante la secuencia de procesamiento. Como se ha explicado, las fuerzas y/o pares pueden ser valores estimados de simulación o valores medidos reales. Los parámetros indicativos de rigidez son, por ejemplo, parámetros tales como valores de rigidez que son valores estimados o calculados en una matriz de posiciones en el espacio de trabajo Yb-Zb.

30 Generalmente, el SCM genera parámetros indicativos de rigidez, p. ej., valores de rigidez, para las colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte seleccionadas. Un valor de rigidez podría ser simplemente la fuerza total dividida por la adaptabilidad total (errores de posición y de rotación añadidos) de la PKM o valores separados para diferentes direcciones de fuerza y adaptabilidad. También, la rigidez con respecto al par se puede calcular como el par dividido por la adaptabilidad rotacional y posicional de la PKM. El operador puede ajustar posteriormente las colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte para aprender qué colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte son más críticas y en qué direcciones deben moverse las articulaciones de plataforma de soporte para aumentar la rigidez. Este procedimiento puede realizarse preferentemente de forma automática, sin interacción del operador, como se explicará a continuación. Un procedimiento útil es mover el TCP en el centro del espacio de trabajo y definir una matriz de posiciones de TCP. El CAD_GEM puede a continuación generar automáticamente los valores de parámetro cinemáticos para las posiciones de matriz y el SCM puede generar los valores de rigidez media y mínima en las posiciones de matriz para todo el espacio de trabajo.

40 En algunas realizaciones, el SCM obtiene las fuerzas de enlace de la PKM a partir de la resolución de un sistema de ecuaciones logrado por el requisito de que la suma de todas las fuerzas que actúan sobre la plataforma de soporte 17 debe ser cero y que la suma de todos los pares que actúan sobre la plataforma de soporte 17 debe ser cero. Esto es posible ya que se conocen el TCP y todas las coordenadas de articulación de plataforma de soporte, así como las fuerzas y pares de herramienta, y las direcciones de los enlaces de soporte (posición de articulación de carro menos posición de articulación de plataforma de soporte). Debido al carácter cuasi estático del análisis de rigidez, se omiten las fuerzas de inercia dinámicas. Por tanto, en alguna realización, la estimación S1 comprende estimar las fuerzas de enlace con el requisito de que la suma de todas las fuerzas que actúan sobre la plataforma de soporte 17 sea cero, y la suma de todos los pares que actúan sobre la plataforma de soporte 17 sea cero. Cuando se han calculado las fuerzas de enlace, los valores de rigidez de los enlaces, articulaciones y otros componentes a través de los cuales se transmiten las fuerzas de enlace, se usan para calcular las desviaciones de longitud de los enlaces debido a las fuerzas de enlace. Conociendo las desviaciones de longitud de los enlaces, se puede resolver un nuevo sistema de ecuaciones, definiendo los errores de posición y orientación de la plataforma de soporte necesarios para adaptarse a las desviaciones de longitud de los enlaces. Este sistema de ecuaciones es posible de resolver ya que las posiciones de la plataforma de soporte y de la articulación de carro se conocen sin desviaciones de longitudes de enlace. A partir de la posición calculada y el error de orientación de la plataforma de soporte, se calcula el error de posición de TCP, así como el error de orientación del sistema de coordenadas de herramienta. Con las fuerzas y pares de herramienta conocidos, a continuación, se pueden estimar los valores de los parámetros de rigidez, p. ej., calcularse y enviarse al OptMod.

60 Después de la etapa S1, el método comprende comprobar S2 si los parámetros estimados indicativos de rigidez de la PKM cumplen uno o más criterios de rigidez. En una realización, el uno o más criterios de rigidez S2a comprenden que no se detecta colisión entre un modelo geométrico de los enlaces de soporte y un modelo geométrico de la plataforma de soporte 17. Por tanto, en cada colocación se prueba la colisión. En otra realización, el uno o más criterios de rigidez S2b comprenden que no se alcanza ningún límite de articulación basándose en las limitaciones obtenidas para las colocaciones de montaje de articulación. Una limitación para la colocación de montaje de articulaciones define, por ejemplo, una restricción mecánica de la articulación.

En una realización más, el uno o más criterios de rigidez S2d comprenden que un mínimo actual de los parámetros estimados indicativos de rigidez es igual o superior a un valor de rigidez predeterminado. El valor de rigidez predeterminado define una rigidez objetivo de la PKM. El operador define la rigidez objetivo de la PKM para adaptarse a la aplicación en cuestión. Por tanto, no se permite que ninguno de los parámetros estimados indicativos de rigidez sea inferior al valor de rigidez predeterminado (o parámetro predeterminado equivalente indicativo de valor de rigidez). Esto se comprueba seleccionando el mínimo de los parámetros estimados indicativos de rigidez en la etapa S1 y comparando este valor con el valor de rigidez predeterminado. El mínimo actual de los parámetros estimados indicativos de rigidez se refiere al mínimo actual de los parámetros estimados indicativos de rigidez de la configuración de colocación actual.

Tras los parámetros estimados indicativos de rigidez que cumplen uno o más criterios de rigidez de la PKM, el método comprende elegir S3 la configuración de colocación actual como una configuración de colocación óptima de las articulaciones de plataforma de soporte. Normalmente, los parámetros estimados que son indicativos de rigidez deben cumplir dos o más, en algunas realizaciones todos, del uno o más criterios de rigidez, para elegir S3 la configuración de colocación actual como una configuración de colocación potencialmente óptima. Cuando la optimización está lista, el SCM puede proporcionar los últimos valores sobre la desviación de postura, fuerzas de enlace, fuerzas de accionador, fuerzas del marco, etc., al operador. Si se usa una muñeca, también se proporcionan al operador fuerzas internas y momentos en la muñeca. En concreto, si no se ha producido ninguna colisión, no se alcanza ningún límite de articulación, y un mínimo actual de los parámetros estimados indicativos de rigidez es igual o superior a un valor de rigidez predeterminado, entonces se determina que las colocaciones son colocaciones óptimas, luego se notifican los resultados, el modelo CAD se actualiza y el operador puede continuar con el trabajo de diseño, véanse las figuras 7A-7C. En algunas realizaciones, si el mínimo actual obtenido del valor de rigidez estimado es mayor que el mejor valor de rigidez mínimo anterior, el valor de rigidez mínimo actual obtenido se almacena como el nuevo mejor valor de rigidez mínimo. Si el valor es mayor o igual que la rigidez especificada para la aplicación, por tanto, el valor de rigidez predeterminado, se detiene el procedimiento de optimización. De lo contrario, se realiza una nueva iteración.

Tras los parámetros estimados indicativos de rigidez que no cumplen uno o más criterios de rigidez de la PKM, el método comprende cambiar S4 una colocación de una o más articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a en la configuración de colocación actual y repetir los procesos de estimación S1 y de comprobación S2 con la configuración de colocación actual cambiada. Por tanto, el método se itera hasta que se cumplen uno o más criterios de rigidez. Un criterio de rigidez no cumplido significa, por ejemplo, que se ha producido una colisión, o se ha alcanzado un límite de articulación, o que no se ha alcanzado un objetivo de rigidez. Por tanto, en cada colocación se prueba la colisión y, si se produce la colisión, al menos una articulación de plataforma de soporte obtendrá una nueva colocación y se realiza una nueva iteración. Debería entenderse que el cambio de colocaciones se realiza en el modelo en el ordenador, y no en un modelo físico. Por tanto, las colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte se prueban para detectar colisiones y violaciones de los límites de las articulaciones, y si ha tenido lugar una o ambas, el OptMod o el operador encuentra nuevas colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte. El operario debe hacer esto cuando se ha implementado un nivel de automatización bajo. Cuando se han realizado nuevas colocaciones de articulaciones después de la colisión o la violación de los límites de las articulaciones, se realizan nuevas pruebas de colisión y límites de articulación en la etapa S2. Si no hay colisiones y los ángulos de articulación están dentro de sus intervalos de trabajo, la rigidez se calcula y se prueba en relación con el valor especificado. Si la rigidez está por debajo de la especificación, el OptMod hace uso de su algoritmo de optimización para calcular nuevas colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte. Con más detalle, si no se ha producido colisión y no se violan los límites de la articulación, el valor de rigidez mínimo encontrado en el espacio de trabajo se compara con el mejor valor de rigidez mínimo anterior. Si el valor de rigidez mínimo es menor que el mejor valor de rigidez anterior, se realiza una nueva iteración. En algunas realizaciones, el método comprende comprobar S4a si se ha realizado un número máximo de etapas de iteración. El número de iteraciones es, p. ej., incrementado por un contador. Si el número de iteraciones es igual a un número máximo predeterminado, se decide que se han realizado suficientes iteraciones y el método continúa a la etapa S3. Por tanto, si se ha conseguido el número máximo de iteraciones, se detiene la optimización y se notifican los resultados. El operador puede tomar el control a partir de entonces para resolver el problema, por ejemplo, probar con un diseño que tenga dimensiones de plataforma más grandes. De lo contrario, si no se ha conseguido el número máximo de iteraciones, el método continúa a la etapa S1 en la figura 5. Por tanto, si las repeticiones no han alcanzado el número máximo de iteraciones, el método continúa con la estimación de la rigidez, pruebas de colisión y pruebas de límites de articulaciones.

En cada iteración, el OptMod envía nuevos datos cinemáticos al SCM y el SCM responde con parámetros estimados indicativos de rigidez. Cuando se definen nuevas colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte, también se actualiza la colocación de las articulaciones de carro para preservar la cinemática de la PKM con, por ejemplo, pares de enlaces que forman paralelogramos. En cada iteración, se pueden encontrar nuevas colocaciones de articulaciones usando, por ejemplo, el método complejo, un algoritmo genético o un algoritmo de descenso de gradiente. Si se encuentra una colisión o si se alcanza cualquier límite de articulación, el SCM se detiene en la posición de herramienta correspondiente en el espacio de trabajo definido y el operador puede intervenir y hacer los ajustes necesarios de las colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte. Si se encuentra un valor de rigidez mínimo bajo en una determinada posición de herramienta, el CAD_GEM puede moverse a esta posición de herramienta y el operador puede ajustar las colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte para encontrar una manera de aumentar

la rigidez en esta posición de herramienta. Para cada cambio de colocación de la articulación de plataforma de soporte, el SCM generará un nuevo valor de rigidez.

5 En alguna realización, el método comprende reemplazar S2c un valor de rigidez mínimo anterior con un mínimo actual de los parámetros estimados indicativos de rigidez, tras un mínimo actual de los parámetros estimados indicativos de que la rigidez es mayor que el valor de rigidez mínimo anterior. Esta etapa normalmente también requiere que se cumplan los criterios de rigidez S2a y S2b.

10 El OptMod puede usar otros parámetros además de la rigidez en el proceso de optimización, como, por ejemplo, desviación de TCP o fuerza de enlace máxima. Independientemente de qué parámetro sea el sujeto durante la optimización, se puede usar la misma técnica de optimización.

15 Volviendo a la figura 4A, en algunas realizaciones, el CAD_GEM maneja la matriz de posición y el OptMod solicita (véase D2) nuevas posiciones del CAD_GEM. Este es un ejemplo del problema en el que se deben realizar diferentes cálculos y, como compensación, cuanto más se haga en el ciclo de optimización por el CAD_GEM, más lenta será la optimización. Por lo tanto, es una ventaja si el OptMod genera una matriz de posición y también es posible dar al OptMod la responsabilidad de los límites de intervalo de trabajo de articulación e incluso la detección de colisiones. Sin embargo, esto significa una mayor complejidad cuando se implementa el OptMod y se expandirá la interfaz OptMod en el CAD_GEM. En el sistema de la figura 4A, el OptMod se encarga de la matriz de posición, pero tanto el intervalo de trabajo de articulación como las colisiones son supervisados por el CAD_GEM y, por lo tanto, el OptMod solo necesita comunicar las últimas colocaciones de plataforma de soporte que se han calculado al CAD_GEM y el CAD_GEM detendrá la optimización si se han alcanzado los límites de articulación o se han producido colisiones. Cuando el OptMod ha alcanzado su objetivo o consumido el número de iteraciones aceptadas, enviará los valores obtenidos sobre la rigidez, fuerzas de enlace, fuerzas de accionador, fuerzas de marco, etc., al CAD_GEM para su visualización al operador. Por tanto, en algunas realizaciones, el método comprende mostrar S5 el modelo cinemático al operador. También se pueden mostrar al operador otros tipos de resultados del método, p. ej., a través de la pantalla 20 25 420 (figura 4).

30 Si se ha elegido una configuración de colocación óptima en la etapa S3, pero se ha realizado el número máximo de iteraciones (etapa S4a), se debe realizar un rediseño en la etapa S6. A continuación, el método vuelve a la etapa S0c, donde las nuevas colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a se eligen y se repite el método. Alternativamente, si se ha elegido una colocación óptima y no se necesita un rediseño (no se alcanza el número máximo de iteraciones), el método continúa a la etapa S7 en la figura 7A. Sin embargo, para evitar óptimos locales, el método puede repetirse para diferentes colocaciones iniciales de las seis articulaciones de 35 plataforma de soporte.

Las figuras 7A-7C ilustran cómo puede probarse la configuración de colocación óptima. Por tanto, en algunas realizaciones, el método comprende probar S7 la colocación de articulaciones por medio de un modelo CAD en aplicación con objeto(s) de trabajo y herramienta(s) apropiado(s). Por tanto, se realiza una simulación con la configuración de colocación óptima. En la simulación, el modelo CAD con la colocación óptima de la articulación de 40 plataforma de soporte se prueba en todo el espacio de trabajo con respecto a la accesibilidad en el objeto de trabajo usando el efector final que se va a usar. Una forma de hacer esto es ejecutar el programa o programas de aplicación y si se producen colisiones entre, por ejemplo, enlaces de soporte y el objeto de trabajo en cuestión, las articulaciones de plataforma de soporte deben moverse a otra colocación para evitar el problema. El modelo CAD realiza entonces un desplazamiento correspondiente de las articulaciones de carro. Por tanto, en algunas realizaciones, el método comprende probar S8 si se produce una colisión, p. ej., entre el modelo CAD y el objeto de trabajo. Si se produce una colisión, el método continúa a la etapa S8a en la figura 7B, que comprende desplazar las articulaciones de plataforma de soporte que provocan colisiones y bloquear la colocación de estas articulaciones de plataforma de soporte. Posteriormente, el método continúa a la etapa S8b, que comprende una nueva optimización de la rigidez con 50 colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte bloqueadas para evitar problemas de aplicación. Esto se logra volviendo a la etapa S1 y continuando con las nuevas colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte bloqueadas como colocaciones iniciales. Cuando se han encontrado colocaciones de montaje libres de colisiones para las articulaciones de plataforma de soporte conectadas a los enlaces de soporte que causan problemas de colisión, las colocaciones de estas articulaciones de plataforma de soporte están bloqueadas (y no pueden moverse por el algoritmo de optimización) en la colocación inicial de las articulaciones de plataforma de soporte cuando se realiza una nueva optimización de rigidez. En el caso de que no se produzcan colisiones en la etapa S8, y el diseño de 55 plataforma de soporte se bloquee en la etapa S9, p. ej., debido a los requisitos de la aplicación, el operador comienza a diseñar S9a (figura 7C) las interfaces mecánicas entre la plataforma de soporte 17 y las articulaciones de plataforma de soporte. Las interfaces mecánicas deberían ser interfaces mecánicas de alta rigidez. En la mayoría de realizaciones, el diseño S9a también comprende diseñar las interfaces mecánicas entre los carros y las articulaciones de carro para cumplir con los requisitos de nuevas colocaciones de articulaciones de carro según se determine/calcule para preservar las propiedades cinemáticas de la PKM. También, estas interfaces mecánicas deberían ser interfaces mecánicas de alta rigidez. Esto se hace con el requisito de obtener las colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte optimizadas y, simultáneamente, las direcciones de montaje de las articulaciones de plataforma de soporte 60 que proporcionan el uso máximo de los intervalos de trabajo del tipo de articulación seleccionado. En este trabajo también es importante probar que las interfaces mecánicas no darán ningún problema de colisión cuando se ejecutan 65

los programas de aplicación. Para obtener una alta rigidez de las interfaces mecánicas, se genera un modelo de elementos finitos (FEM) para la plataforma de soporte 17 junto con las interfaces mecánicas, y la geometría de las interfaces mecánicas se mejora si es necesario. Por tanto, en algunas realizaciones, el método comprende realizar S9b un análisis FEM para refinar las interfaces mecánicas. Para hacer el análisis FEM, se pueden aplicar a los enlaces
 5 fuerzas de enlace máximas obtenidas durante el análisis de rigidez. Cuando el diseño de las interfaces mecánicas para las articulaciones de plataforma de soporte esté listo, se diseñan las interfaces para las articulaciones de carro. Para garantizar interfaces de alta rigidez, también se necesita FEM para el diseño de las interfaces mecánicas para las articulaciones de carro.

10 En el caso de que la plataforma de soporte no esté ya diseñada y el operador tenga la posibilidad de diseñar también la plataforma de soporte 17, el diseño de alta rigidez de las interfaces mecánicas para las articulaciones de plataforma de soporte se realiza junto con el diseño de plataforma de soporte. Por tanto, en algunas realizaciones, el método comprende diseñar S10 una plataforma de soporte de alta rigidez que incluye interfaces mecánicas entre la plataforma de soporte 17 y las articulaciones de plataforma de soporte. Conociendo las fuerzas de los enlaces y las fuerzas y pares de la herramienta, es posible usar una herramienta de optimización de estructura para obtener una estructura
 15 de plataforma de soporte óptima que incluye interfaces de articulación y puede haber una transición suave entre las articulaciones de plataforma de soporte y la plataforma de soporte. Esto también hace posible el uso de impresión 3D. En algunas realizaciones, el método comprende realizar un análisis FEM S11 (si es necesario) para refinar las interfaces mecánicas, como se explica en relación con la etapa S9b. En una etapa adicional, el método puede comprender diseñar interfaces mecánicas de alta rigidez S12 entre carros y articulaciones de carro. Posteriormente, el método puede comprender realizar S13 un análisis FEM y, si es necesario, refinar el diseño de las interfaces mecánicas. Para las propias articulaciones, incluyendo el contacto rodante o deslizante entre las partes en movimiento, los datos de experimentos separados se pueden usar para tales elementos de máquina específicos. Si el diseño es satisfactorio, la PKM final con la plataforma de soporte y las colocaciones de articulaciones óptimas puede
 20 implementarse en una etapa adicional S14.

En algunas realizaciones, la PKM comprende una base de herramienta 140 que comprende una articulación de árbol 121, un árbol 122 de base de herramienta y una plataforma de herramienta 123. Un ejemplo de tal realización se ilustra en la figura 17. El árbol 122 está conectado a la plataforma de soporte 17 a través de la articulación de árbol 121 en
 30 el punto de conexión 23a. El árbol 122 también está conectado a la plataforma de herramienta 123. El árbol 122 normalmente está conectado rígidamente, p. ej., montado rígidamente, a la plataforma de herramienta 123. La PKM también comprende uno o más varillajes de herramienta TL1, TL2 (no se muestra un tercer varillaje de herramienta TL3, pero puede incluirse en la PKM en la figura 17, conectado entre la base de herramienta 140 y un carro 5. El tercer varillaje de herramienta TL3 también puede comprender un enlace de herramienta y conectarse a través de articulaciones, como TL1 y TL2). Cada varillaje de herramienta TL1, TL2, TL3 comprende un enlace de herramienta 126; 127 conectado en un extremo a través de una articulación de base de herramienta 129, 131 a la base de herramienta 140 y en el otro extremo conectado a través de una articulación de carro 128, 130, a un carro 4, 6 dispuesto para moverse a lo largo de una trayectoria. Los enlaces de herramienta están dispuestos para tener una longitud variable, p. ej., ser telescópicos. Los carros pueden ser carros distintos de los indicados en la figura, pero móviles a lo
 40 largo de la(s) misma(s) trayectoria(s). Cada varillaje de herramienta TL1, TL2, TL3 está configurado para girar el árbol 122 alrededor de al menos un eje en relación con la plataforma de soporte 17, transfiriendo un movimiento del respectivo varillaje de herramienta TL1, TL2, TL3 al árbol 122. La plataforma de soporte 17 está dispuesta para tener una parte de la articulación de árbol 121 montada en la plataforma de soporte 17. Por tanto, la articulación de árbol 121 está montada en la plataforma de soporte 17. El árbol 122 de base de herramienta está conectado en un extremo a la articulación de árbol 121. El árbol 19 de base de herramienta está conectado por su otro extremo con la plataforma de herramienta 123. Por tanto, el árbol de base de herramienta 122 está conectado a la plataforma de soporte 17a a través de la articulación de árbol 121 y el árbol también está conectado a la plataforma de herramienta 123. Más precisamente, la plataforma de herramienta 123 está montada en el árbol 122 de base de herramienta. El árbol 122 de base de herramienta tiene normalmente una forma alargada. El árbol 122 de base de herramienta está hecho de un material rígido. El árbol 122 de base de herramienta es, por ejemplo, una varilla. La plataforma de herramienta 123 comprende aquí un cuerpo que tiene una forma rectangular, pero la plataforma de herramienta 123 puede tener otras formas. La plataforma de herramienta 123 proporciona una interfaz de unión entre el árbol de base de herramienta 122 y un accionador de una herramienta, p. ej., un accionador de proceso. Por tanto, el árbol 122 de base de herramienta está unido al accionador a través de la plataforma de herramienta 123. La base de herramienta 140 es en algunas realizaciones un conjunto de al menos la articulación de árbol 121, el árbol 122 de base de herramienta y la plataforma de herramienta 123. En algunas realizaciones, la base de herramienta 140 comprende un accionador de proceso 108 configurado para operar un cabezal de herramienta 22. El accionador de proceso 108 está unido o montado en la plataforma de herramienta 123. El accionador de proceso 108 comprende el cabezal de herramienta 22 dispuesto en una parte distal del accionador de proceso 108. El accionador de proceso 108 puede ser un accionador de proceso tal como un motor de husillo para fresado o soldadura por fricción y agitación. La articulación de árbol 121 puede diseñarse para tener uno, dos o tres grados de libertad, dependiendo de los requisitos de la aplicación y de la estructura cinemática seleccionada. La articulación de árbol 121 permite cambiar la orientación del cabezal herramienta 22 de una manera más versátil. Por ejemplo, la articulación de árbol 121 es una articulación de cardán de alta rigidez. Una articulación de dos DOF de este tipo hace posible inclinar el árbol 122 de base de herramienta en dos direcciones. La finalidad de la articulación de árbol 121 es hacer posible obtener cualquier ángulo espacial 124 entre la línea central del árbol 122 de base de herramienta y la línea 125, que es paralela al eje Zb del sistema de
 65

coordenadas de base. Por tanto, la articulación de árbol 121 está dispuesta de tal forma que el árbol 122 de base de herramienta se puede mover, es decir, inclinar, en relación con la plataforma de soporte 17. Como alternativa al uso de una articulación de árbol tipo cardán de alta rigidez, se puede usar una articulación de rótula de alta rigidez o una articulación cardán, si el equipo de herramienta necesita también un 3^{er} grado de libertad de giro. La figura 17 muestra también una unidad de control 135 que está dispuesta para controlar el movimiento de la PKM, usando accionadores. Cada accionador lineal de un varillaje comprende un motor que está dispuesto para accionar un enlace de longitud variable del mismo varillaje. Un accionador lineal es, por tanto, un accionador dispuesto para provocar el movimiento lineal de un enlace y, por tanto, cambiar la longitud del enlace. El motor se controla a través de la unidad de control 135. Por tanto, el segundo varillaje de herramienta TL2 comprende un accionador lineal que comprende un motor 133 conectado a la unidad de control 135 a través del cable 134, por ejemplo, montado en una cadena portacables a lo largo de la tercera trayectoria 3. Además, el primer varillaje de herramienta TL1 comprende un accionador lineal que comprende un motor 132 conectado a la unidad de control 135 a través de un cable (no mostrado), por ejemplo, montado en una cadena portacables a lo largo de la primera trayectoria 1.

Considerando una PKM como se ilustra en la figura 17, de acuerdo con una realización, el método comprende determinar la colocación SO de la una o más articulaciones de base de herramienta 129; 131 en la base de herramienta 140. En algunas realizaciones, el método comprende colocar las articulaciones de base de herramienta lo más cerca posible entre sí. Esto significa colocar las articulaciones de base de herramienta lo más cerca posible entre sí según lo permitan las restricciones mecánicas. En algunas realizaciones, el método comprende colocar las articulaciones de base de herramienta de tal manera que se ajuste una distancia entre las articulaciones de base de herramienta y un eje central del árbol (p. ej., el eje central del árbol 71a y las articulaciones de base de herramienta 129 y 131 en la figura 17) para obtener un intervalo de trabajo cinemáticamente simétrico alrededor de cero para el ángulo de árbol 124 (figura 13). En algunas realizaciones, el método comprende colocar las articulaciones de base de herramienta de tal manera que el intervalo de trabajo cinemáticamente simétrico se ajuste para obtener un intervalo de trabajo simétrico con respecto a la rigidez.

Por tanto, en caso de que la PKM también comprenda una base de herramienta, articulaciones de base de herramienta y varillajes de herramienta como en la figura 17, las colocaciones de las articulaciones de base de herramienta se determinan antes de las colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte y el diseño de las interfaces mecánicas y la plataforma de soporte, si fuera necesario, se determinan.

La divulgación también se refiere a un sistema que comprende un ordenador como se explica en el presente documento, y que está configurado para generar una configuración de colocación óptima, p. ej., en una pantalla o comunicándolo a otro ordenador. El sistema también comprende una PKM de acuerdo con cualquiera de las realizaciones descritas en el presente documento, y cuyas articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a se colocan en la plataforma de soporte 17 de acuerdo con la configuración de colocación óptima emitida por el ordenador. El ordenador también puede implementarse en la unidad de control 135.

Una explicación más detallada de las simulaciones de optimización descritas en relación con las figuras 5-7 se explicará adicionalmente a continuación. La figura 8 es para ilustrar la complejidad del problema de optimización, que muestra articulaciones de plataforma de soporte con un total de 18 parámetros a optimizar cuando se colocan en un sistema de coordenadas. La disposición del sistema de coordenadas de plataforma de soporte en la figura 8 podría ser, por ejemplo, las posiciones iniciales arbitrarias antes de comenzar la optimización y no muestra ninguna colocación inicial óptima o mejor real de las articulaciones de plataforma de soporte. La numeración de enlace de soporte es como en las figuras 1-3 y las colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte se definen como sigue:

Una primera articulación de plataforma de soporte 9a para el enlace de soporte 9 tiene el valor x 28 (negativo), el valor y 29 (negativo) y el valor z cero.

Una segunda articulación de plataforma de soporte 8a para el enlace de soporte 8 tiene el valor x 25, el valor y 26 (negativo) y el valor z 27 (negativo).

Una primera articulación de plataforma de soporte 10a para el enlace de soporte 10 tiene el valor x 30, el valor y 31 (negativo) y el valor z 32 (negativo).

Una segunda articulación de plataforma de soporte 1 para el enlace de soporte 11 tiene el valor x 33, el valor y 34 y el valor z cero.

Una primera articulación de plataforma de soporte 12a para el enlace de soporte 12 tiene el valor x 35 (negativo), el valor y 36 y el valor z 37.

Una segunda articulación de plataforma de soporte 13a para el enlace de soporte 13 tiene el valor x 38, el valor y 39 y el valor z 40 (negativo).

La tarea más importante para la optimización de la rigidez es colocar las articulaciones de plataforma de soporte en la

plataforma de soporte 17 de tal manera que las fuerzas y pares de la herramienta 22 en el TCP (el origen del sistema de coordenadas de herramienta (Xt, Yt, Zt) dará como resultado una rigidez de PKM tan alta como sea posible. Esto significa que las fuerzas y los pares de los que se ocupa la plataforma de soporte 17 deberían dar como resultado las seis fuerzas de enlace más bajas posibles de aproximadamente el mismo valor, ningún enlace de soporte debería tener una fuerza de enlace mucho más alta que los otros enlaces (en el caso de seis enlaces de soporte; en el caso de cinco enlaces de soporte, entonces el resultado debería ser cinco fuerzas de enlace más bajas posibles de aproximadamente el mismo valor). A continuación, las explicaciones se harán con referencia a una PKM con seis enlaces de soporte, pero debe entenderse que las explicaciones también son aplicables para una PKM con cinco enlaces de soporte, ya que el sexto enlace omitido simplemente deja libre un grado de libertad para la plataforma de soporte, que luego se fija mediante un enlace de soporte de herramienta correspondiente. Para cada especificación de aplicación con restricciones de componente dadas, habrá una colocación óptima de las seis articulaciones de plataforma de soporte en el sistema de coordenadas de plataforma de soporte para las posiciones o trayectoria de espacio de trabajo designadas. La rigidez se define como la fuerza dividida con la desviación de posición. La desviación de posición puede aplicarse para una, dos o tres coordenadas en, por ejemplo, el sistema de coordenadas de herramienta o en cualquier otro sistema de coordenadas.

En una optimización de fuerza bruta, las articulaciones de plataforma de soporte se colocan aleatoriamente en la plataforma de soporte 17 y luego se mueven alrededor para encontrar el valor de rigidez más alto posible. Cuando se mueve una articulación de plataforma de soporte durante este proceso, deben evitarse las colisiones con la plataforma de soporte y con otros enlaces. Como se ha mencionado, hay muchas formas de realizar tal optimización.

El procedimiento de optimización es muy difícil debido a los óptimos locales y al número extremadamente grande de combinaciones de colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte. La evitación de óptimos locales no es solo una cuestión de tiempo computacional para determinar parámetros de máquina; más importante es evitar los óptimos locales que representan propiedades parcialmente inválidas que requieren que un experto investigue y elimine. Para que el método sea útil como parte de las herramientas normales de ingeniería/CAD, tanto el tiempo computacional como la optimización automática son cruciales. Afortunadamente, el análisis mencionado, incluyendo simulaciones y optimizaciones durante el desarrollo del método divulgado, ha demostrado que para las estructuras de manipulador a las que se hace referencia en la divulgación (tal como la de la figura 1), existen requisitos básicos sobre la colocación de las articulaciones de plataforma de soporte que pueden usarse como colocaciones iniciales. De este modo, la optimización de la rigidez puede evitar los óptimos locales al determinar las colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte. Los requisitos básicos enumerados a continuación están relacionados con las definiciones en la figura 8. Para reducir la complejidad de la figura, las articulaciones de plataforma de soporte 10a, 11a de los enlaces 10 y 11 en la posición b no están incluidas y las articulaciones de plataforma de soporte 9a, 11a de los enlaces de soporte 9 y 11 se colocan directamente en el plano Xsp-Ysp del sistema de coordenadas de plataforma de soporte. Asimismo, los valores de coordenadas absolutos (25, 26, 27, etc.) en el sistema de coordenadas de plataforma de soporte se denominarán distancias en la descripción de los requisitos. Por tanto, en algunas realizaciones, se aplican una o más de las siguientes reglas para una buena estimación inicial de las articulaciones de plataforma de soporte (por tanto, para encontrar una buena configuración inicial de la colocación de las articulaciones de plataforma de soporte):

1. La suma de las distancias 25 y 28 está diseñada para estar en el mismo orden que la distancia 27, y la suma de las distancias 35 y 38 está diseñada para estar en el mismo orden que la suma de las distancias 37 y 40.
2. La suma de las distancias 29 y 36 está diseñada para ser menor que la suma de las distancias 26 y 39.
3. La suma de las distancias 26 y 36 está diseñada para ser lo más pequeña posible (con limitación dada por los tamaños de articulación de plataforma de soporte) como una opción para el artículo anterior. Cabe señalar que, si esto es posible desde el punto de vista de la colisión de enlaces, puede ser ventajoso montar la articulación de plataforma de soporte 12a para el enlace de soporte 12 debajo (en la dirección Ysp) de la articulación de plataforma de soporte 9a del enlace de soporte 9.
4. El sistema de coordenadas de herramienta 24 se obtiene en la figura 8 mediante movimiento paralelo a lo largo del eje Zsp. Para obtener la máxima rigidez para un conjunto dado de fuerzas de herramienta y pares de herramienta, puede ser necesario trasladar el sistema de coordenadas en las direcciones Xsp e Ysp y, por supuesto, se realizan las correspondientes traslaciones del montaje de herramienta.

En todos los casos, la distancia 27 y la suma de las distancias 37 y 40 deben ser tan grandes como sea posible, dentro de los límites de las restricciones de implementación. Estas medidas corresponden a la distancia en la dirección Zsp entre los enlaces paralelos (8-9 y 12-13 respectivamente) que se conectan al mismo carro de accionador lineal (4 y 6 respectivamente). Se aplican límites para la implementación práctica de la plataforma y los carros. Asimismo, la suma de las distancias 31 y 34 en la dirección Ysp debe ser lo más grande posible dentro de los límites de la implementación de la plataforma de soporte, el correspondiente carro (5) y la accesibilidad para la aplicación.

Los requisitos anteriores se definen adicionalmente por medio de la figura 9, que muestra una proyección de las articulaciones de plataforma de soporte en el plano Xsp-Zsp (Ysp=0). La figura 9 define áreas en las que el algoritmo de optimización debería funcionar para evitar mínimos locales y demasiadas etapas de iteración. Por tanto, la figura puede usarse para describir cómo obtener colocaciones de articulación de plataforma de soporte casi óptimas según lo limitado por el tamaño máximo de la geometría 3D de la plataforma de soporte y el tamaño máximo de las interfaces mecánicas en los carros de accionador 4-6. Las cajas 41a, 43, 45, 46 y 47 son proyecciones al plano Xsp-Zsp de tubos

virtuales, en el que las articulaciones de plataforma de soporte se colocan a diferentes niveles en la dirección Ysp. Las cajas 46 y 47 están definidas para los enlaces 10b y 11b, que tienen la misma dirección Xb que el resto de los enlaces, véase la figura 1. Como puede verse en la figura 9, la caja 45 para los enlaces 10 y 11 (SL2_P1) es muy grande, lo que significa que la colocación de estas articulaciones de plataforma de soporte 10a, 11a puede requerir más pruebas. Sin embargo, las proyecciones de estas articulaciones de plataforma de soporte no deben estar demasiado alejadas entre sí en el plano Xsp-Zsp y, por lo general, es una ventaja tener estas articulaciones de plataforma de soporte cerca del eje Xsp. La figura 9, además de mostrar dónde deben colocarse las colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte, también se puede usar para un control más detallado del algoritmo de optimización para evitar cambios aleatorios de los (18) parámetros de las posiciones de articulación de plataforma de soporte:

1. La distancia 51 entre las cajas 41a y 43a en la dirección Zsp se establece para que sea lo más grande posible con respecto a las limitaciones de implementación para la plataforma y los accionadores lineales. Por simplicidad, la caja 41a se coloca con su lado inferior en el eje Xsp.
2. Los puntos 42a y 44a se definen en el medio de los lados inferiores de las cajas 41a y 43a. La distancia 43b entre el punto 44a y el eje Ysp se establece a 0,5 veces la distancia 51 como una posición de inicio en la optimización.
3. La línea 49 se define conectando los puntos 42a y 44a y el ángulo 50 es el ángulo entre esta línea y el eje Zsp. Durante el proceso de optimización, el ángulo 50 varía entre 30 y 60 grados. Durante esta optimización, la mayor distancia en la dirección Ysp entre las articulaciones de plataforma de soporte en la caja 43a se establece en la longitud de 51 como valor inicial, mientras que las articulaciones de plataforma de soporte en la caja 41a se establecen para que estén lo más cerca posible entre sí en la dirección Ysp con respecto a las limitaciones de implementación mecánica. Esta distancia Ysp se optimiza a continuación en la etapa 4, véase la figura 8.
4. Realizar la optimización de la distancia en la dirección Ysp entre las articulaciones de plataforma de soporte en la caja 43a en valores que varían entre 0,7 y 1,7 veces la longitud de 49 como se obtiene en la etapa 3. Se puede realizar una optimización adicional variando las relaciones entre las longitudes 29 y 36 o las longitudes 26 y 39, con las sumas de las respectivas longitudes 29 y 36 o las longitudes 26 y 39 mantenidas constantes como optimizadas.
5. El tamaño de la caja 43a se define para que sea el mismo que el de la caja 41a con las longitudes laterales 41b y 41c. Estas longitudes laterales se seleccionan para que sean la mitad de la distancia 51 entre las cajas. Una de las articulaciones de plataforma de soporte en la caja 41a se coloca en la posición 42a y una de las articulaciones de plataforma de soporte en la caja 43a se coloca en la posición 44a. Durante la optimización, una primera de las articulaciones de plataforma de soporte en las cajas se colocará en 42a y 44a respectivamente y las otras articulaciones de plataforma de soporte (las que no se colocan en 42a y 44a respectivamente) se colocarán en diferentes posiciones dentro de la caja respectiva. Esto se hace para las cuatro combinaciones de posicionamiento de las articulaciones de plataforma de soporte en las cajas.
6. Realizar la optimización variando coordinadamente la coordenada Xsp 43b, probar también con valores Xsp negativos. La coordinación significa que la variación se realiza de tal manera que todas las posiciones (42a, 44a y las posiciones de las articulaciones de plataforma de soporte) obtendrán el mismo cambio en la dirección Xsp. Esto es realmente lo mismo que mover el TCP en la dirección Xsp.
7. Por último, optimizar la colocación de las articulaciones de plataforma de soporte para los enlaces 10 y 11. Probar al principio cerca del eje Xsp. Sin embargo, puede no estar permitido tener estos enlaces con una gran distancia entre sí demasiado cerca del TCP por razones de accesibilidad.

Se puede realizar una iteración entre las diferentes etapas para mejorar aún más la rigidez de las fuerzas y pares aplicados en el TCP en el área de trabajo designada. En cada etapa, la optimización puede comenzar con pruebas de sensibilidad para obtener la influencia de diferentes cambios en las colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte en la rigidez del manipulador. La principal ventaja de usar este método es que solo se necesita un conjunto inicial de posiciones de articulación de plataforma de soporte, ya que se evitarán los óptimos locales.

La figura 10 ilustra el estrechamiento del espacio de articulación inicial de plataforma de soporte, haciendo la optimización más simple pero sin alcanzar una solución óptima. Este enfoque se puede usar para aplicaciones que no necesitan la mayor rigidez posible o cuando se puede tolerar un coste más alto usando componentes más rígidos. Por tanto, la figura 10 define un subespacio de los parámetros en la figura 9 para simplificar el método de optimización. En este caso, las áreas de las cajas 41a y 43 se han reducido a cero y solo se usan las posiciones 42a y 44a para determinar las posiciones de las articulaciones de plataforma de soporte de los enlaces 9/12 y los enlaces 8/13 respectivamente. Para una simplificación adicional, las distancias 55 y 56 son las mismas y, por lo tanto, las distancias 59 y 60. Sin embargo, esto no es necesario y, a veces, es útil realizar un procedimiento de optimización con diferentes valores de las dos distancias cuando la suma de las distancias es la misma. Las ubicaciones de las articulaciones de plataforma de soporte 10a, 11a para los enlaces 10 y 11 (SL2_P1) están definidas por un punto de proyección 54. El procedimiento de optimización ahora incluye las siguientes etapas:

1. La distancia 53 entre el punto 44a y el eje Xsp (el valor absoluto de la coordenada Zsp del punto 44a) se establece al valor máximo permitido para la geometría de plataforma mecánica en la dirección Zsp.
2. La distancia 43b entre el punto 44a y el eje Ysp (el valor absoluto de la coordenada Xsp del punto 44a) se establece en 0,5 veces la distancia 53 desde la etapa 1 como un valor de inicio. La distancia 43b se puede ajustar posteriormente para obtener una rigidez mejorada.
3. La suma de las distancias 59 y 60 (la distancia en la dirección Ysp entre las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 13a de los enlaces de soporte 8 y 13) se establece igual a la distancia 53 o tanto como lo permita

la geometría de la plataforma. Esta suma se ajustará más adelante para mejorar la rigidez. La suma de las distancias 55 y 56 se establece lo más pequeña posible según lo limitado por las restricciones de implementación.

4. Se optimiza la colocación del punto 42a en el eje Xsp cuando se varía el ángulo 52 entre 30 y 60 grados. El ángulo 52 es el ángulo entre la línea 49 y el eje Zsp (53 es paralelo al eje Zsp). En el ángulo óptimo de 52 se obtiene la longitud óptima de la línea 49.
5. Ahora optimizar la suma de las longitudes 59 y 60 cuando se varía esta suma de longitudes entre 0,7 y 1,7 veces la longitud óptima de la línea 49 de acuerdo con la etapa 4. En la figura, las distancias 59 y 60 son las mismas, pero a veces es posible obtener mejoras probando diferentes valores con suma constante. Si la suma optimizada de las distancias 59 y 60 se vuelve demasiado grande en relación con las restricciones mecánicas, entonces todos los parámetros obtenidos para las articulaciones de plataforma de soporte obtenidas hasta ahora deben escalarse en consecuencia.
6. Colocar el punto 54 en el eje Xsp de tal manera que el origen estará en el medio de los puntos 42a y 54. Establecer la suma de las distancias 57 y 58 igual a la suma de las distancias 59 y 60. Entonces podría hacerse alguna optimización moviendo la posición 54 en la dirección Xsp positiva o negativa y en la dirección Zsp negativa. A veces también se pueden obtener algunas mejoras teniendo diferentes valores en las distancias 57 y 58 mientras que la suma de las distancias 57 y 58 se mantiene igual. Sin embargo, siempre se deben considerar las posibilidades de implementación mecánica. Desde el punto de vista de la accesibilidad, el punto 54 a menudo necesita moverse en la dirección Zsp negativa.

Por supuesto, se puede usar la iteración entre las diferentes etapas para mejorar aún más la rigidez de las fuerzas y pares aplicados en el TCP en el área de trabajo designada. Si el manipulador siempre sigue la misma trayectoria, la optimización se puede hacer solo para esa trayectoria.

La figura 10 también describe varias distancias d1-d9, que se usarán a continuación. Una primera distancia d1 es la distancia entre la articulación de plataforma de soporte 9a y la articulación de plataforma de soporte 12a. En algunas realizaciones, esta primera distancia d1 está en la dirección del eje Ysp. Una segunda distancia d2 es la distancia entre la articulación de plataforma de soporte 8a y la articulación de plataforma de soporte 13a. En algunas realizaciones, esta segunda distancia d2 está en la dirección del eje Ysp. Una tercera distancia d3 es la distancia entre la articulación de plataforma de soporte 10a y la articulación de plataforma de soporte 11a. En algunas realizaciones, esta tercera distancia d3 está en la dirección del eje Ysp. Una cuarta distancia d4 es la distancia entre la articulación de plataforma de soporte 9a y el punto de conexión 23a, en la dirección del eje Zsp. Una quinta distancia d5 es la distancia entre la articulación de plataforma de soporte 8a y el punto de conexión 23a, en la dirección del eje Zsp. Una sexta distancia d6 es la distancia entre la articulación de plataforma de soporte 12a y el punto de conexión 23a, en la dirección del eje Zsp. Una séptima distancia d7 es la distancia entre la articulación de plataforma de soporte 13a y el punto de conexión 23a, en la dirección del eje Zsp. Una octava distancia d8 es la distancia entre la articulación de plataforma de soporte 8a y la articulación de plataforma de soporte 9a. En algunas realizaciones, esta octava distancia d8 está en la dirección del eje Xsp. Una novena distancia d9 es la distancia entre la articulación de plataforma de soporte 10a/10b y la articulación de plataforma de soporte 11a/11b. En algunas realizaciones, esta novena distancia d9 está en la dirección del eje Xsp.

Hasta ahora, se han descrito las demandas básicas de optimización. Simultáneamente, es importante tener cuidado con las restricciones mecánicas y cinemáticas en las colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte. Las articulaciones de plataforma de soporte son entonces un tipo de componente crítico y las figuras 11A-11B muestran las articulaciones de plataforma de soporte que son de interés principal.

La figura 11A es un boceto de un denominado extremo de varilla con un intervalo de trabajo ampliado para bascular. Este consiste en una bola de acero 90 con un orificio, en el que se monta un árbol de acero 91. El árbol de acero 91 está montado en sus extremos en los apoyos 94a y 94b. Dos mitades de cojinetes planos esféricos 92 están montadas alrededor de la bola de acero y estos cojinetes se mantienen en su lugar por el soporte de cojinete 93, que está conectado al enlace. Los soportes 94a y 94b están montados en una placa 95, que a su vez está montada en la plataforma. El sistema de coordenadas de articulación 95 tiene su origen en el centro de la bola de acero con el eje Zj a lo largo del eje central del árbol de acero 91 y el eje Yj en la línea central del soporte de cojinete 93 cuando la articulación está en el centro de su intervalo de trabajo. Este tipo de articulación puede obtener una rigidez muy alta y la rigidez es la misma para la fuerza en las direcciones Yj tanto positiva como negativa. También tiene un gran intervalo de trabajo alrededor del eje Zj, y alrededor del eje Xj se pueden obtener hasta +/- 45 grados. También existe la posibilidad de girar el soporte de cojinete alrededor del eje Yj. Si la cinemática paralela se implementa con alta precisión, se producirán rotaciones muy pequeñas alrededor del eje Yj.

La figura 11B ilustra el tipo de articulación esférica. La bola de acero 97 está montada en este caso dentro de un receptáculo 98 con cojinetes esféricos separados o donde el interior del receptáculo es la superficie de apoyo contra la superficie de apoyo de la bola de acero. Un árbol 99 para el montaje del enlace está montado en la bola de acero y el receptáculo 98 se puede montar en la plataforma usando el árbol 100, que está fijado al receptáculo. El sistema de coordenadas de articulación 101 tiene su origen en el centro de la bola de acero 97 y la articulación está en el medio de su espacio de trabajo cuando la línea central del árbol 99 coincide con el eje Yj. Este tipo de articulación será muy compacta, y las articulaciones se pueden colocar cerca de la plataforma y cerca entre sí. Sin embargo, la rigidez en la

dirección Yj positiva es mucho menor que en la dirección Yj negativa y el espacio de trabajo está limitado a ± 45 grados tanto para giros alrededor de los ejes Xj como Zj. Tiene una capacidad de giro infinita alrededor del eje Yj, que, como se ha descrito anteriormente, no es importante.

5 La figura 11C representa una articulación de cardán, también denominada articulación universal, con la base 106, que está montada en la plataforma y el apoyo 105, en el que está montado el enlace. Entre el apoyo y la base hay una cruz 102 con cuatro árboles 103. Dos de los árboles están montados en la base con un cojinete 104a y los otros dos árboles están montados en el apoyo con los cojinetes 104b. El sistema de coordenadas de articulación tiene su origen en el centro de la cruz y el eje Yj coincide con la línea central del apoyo cuando la articulación está en su centro de su intervalo de trabajo. Este tipo de articulación puede obtener un gran giro alrededor tanto del eje Xj como del eje Zj. Sin embargo, necesita un cojinete adicional para obtener el giro alrededor del eje Yj.

15 En el proceso de optimización de las colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte, es importante seleccionar el mejor tipo de articulación para la aplicación. Si una rigidez muy alta es el requisito dominante, la articulación de la figura 11A debe probarse en primer lugar y, si esta articulación no tiene suficiente capacidad de rotación alrededor del eje Xj, debe seleccionarse la articulación de la figura 11C. Si la rigidez no es el problema principal sino la compacidad, debe usarse el tipo de articulación de la figura 11B. Cuando se ha seleccionado el tipo de articulación, la siguiente etapa es encontrar posiciones de montaje adecuadas de las articulaciones de plataforma de soporte y de las articulaciones de carro. Entonces es importante montar las articulaciones en una dirección tal que los ejes Yj de la articulación de plataforma de soporte y la articulación de carro para cada enlace de soporte coincidan cuando el TCP está en el centro del espacio de trabajo 7b (véase la figura 1).

25 En la figura 12 se usa el tipo de articulación de la figura 11A y se muestra que se necesitan interfaces mecánicas 112 en la plataforma de soporte 17 e interfaces mecánicas 116 en el carro para obtener ejes Yj coincidentes de la articulación 113 (Yjp) y la articulación 115 (Yjc) cuando el TCP está en el centro del espacio de trabajo. Las interfaces mecánicas pueden hacerse a medida. La figura 8 también muestra la plataforma 110 que contiene un accionador de proceso 108 en forma de un motor de husillo, el sistema de coordenadas de plataforma 111, el enlace 114 entre las articulaciones 113 y 114, un carro 117a y una guía 117b. Por tanto, la plataforma de soporte 17 comprende un accionador 108 entre las articulaciones de plataforma de soporte. El accionador 108 está conectado a una herramienta (en este caso, un árbol de herramienta 71a). La plataforma de soporte 17 es, en este caso, un cilindro para simplificar la figura. El diseño de la máquina se realiza en un sistema CAD y, cuando el TCP se ha colocado en el centro del espacio de trabajo 6b, los enlaces de soporte que incluyen las articulaciones de plataforma de soporte y las articulaciones de carro con ejes Yj coincidentes se mueven alrededor. Cuando se ha obtenido una posición de colocación adecuada para un centro de articulación de plataforma de soporte, la dirección del enlace de soporte y la posición del carro en la guía se cambian hasta que se encuentra un buen ajuste y se pueden diseñar las interfaces mecánicas 112 y 116. Como se ha explicado, la PKM puede comprender una o más interfaces mecánicas 116, cada una dispuesta entre uno de los carros 4, 5, 6 y una respectiva articulación de carro 8b, 9b, 10b, 11b, 12b, 13b. En algunas realizaciones, la una o más interfaces mecánicas 116 están diseñadas para mantener las características cinemáticas de la PKM. Esto significa que a medida que las articulaciones de plataforma de soporte se mueven debido a la optimización de las colocaciones de las mismas, los elementos de interfaz de articulación mecánica están diseñados de tal manera que los enlaces de soporte pueden mantenerse paralelos y de la misma longitud que cuando las articulaciones de plataforma de soporte no se movieron. Esto es cierto para todas las interfaces de articulaciones mecánicas, p. ej., como se muestra en las figuras 8, 11, 13, 14 y 15. Por tanto, los enlaces de soporte 8, 9 del primer varillaje de soporte SL1 son paralelos y tienen la misma longitud, los enlaces de soporte 12, 13 del tercer varillaje de soporte SL3 son paralelos y tienen la misma longitud, y los enlaces de soporte 10, 11 del segundo varillaje de soporte SL2 son paralelos y tienen la misma longitud.

50 Las figuras 13A-14B ilustran diferentes ejemplos de colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte a plataformas de soporte. Las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a tienen colocaciones que se determinan con el método como se ha explicado anteriormente con referencia a los diagramas de flujo de las figuras 5-7C, y con las ilustraciones de ejemplo del método de acuerdo con las figuras 8-10.

55 La figura 13A ilustra un ejemplo de colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte cuando la estructura de máquina cinemática paralela de acuerdo con la figura 1 se usa con los enlaces de soporte 10 y 11 en el conjunto SL2_P1. Las articulaciones de plataforma de soporte se han colocado siguiendo la estructura descrita en la figura 9. Sin embargo, en esta fase del diseño, las restricciones de la mecánica son más obvias que en el caso de optimización teórica descrito anteriormente y muchas alternativas se omitirán directamente usando un sistema CAD debido a la colisión entre componentes. La figura 13A muestra la colocación de las articulaciones de plataforma de soporte como se ve en la dirección Ysp negativa. La plataforma de soporte y las articulaciones de plataforma de soporte son las mismas que en la figura 12. La figura 13B muestra las posiciones de los orígenes de las articulaciones de plataforma de soporte en un borrador 3D. Las distancias d1-d9 que se representan en la figura se han explicado previamente en relación con la figura 10. La plataforma de soporte está compuesta aquí por un cuerpo con una forma volumétrica primitiva. Las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a están conectadas al cuerpo volumétrico primitivo a través de interfaces mecánicas 112, 114, 115. En algunas realizaciones, las interfaces mecánicas están diseñadas de tal manera que las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a se colocan en el medio de sus respectivos intervalos de trabajo de orientación, cuando el cuerpo volumétrico primitivo está centrado en un plano

definido por los ejes Yb y Zb en el espacio de trabajo de la PKM. Como se ha explicado anteriormente, la PKM también puede comprender una o más interfaces mecánicas 116, cada una dispuesta entre uno de los carros 4, 5, 6 y una respectiva articulación de carro 8b, 9b, 10b, 11b, 12b, 13b. En algunas realizaciones, estas interfaces mecánicas también están diseñadas de tal manera que las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a se colocan en el medio de sus respectivos intervalos de trabajo de orientación, cuando el cuerpo volumétrico primitivo está centrado en un plano definido por los ejes Yb y Zb en el espacio de trabajo de la PKM. Por tanto, se han realizado las siguientes colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte en la figura 13A:

- Las articulaciones de plataforma de soporte 9a, 12a para los enlaces 9 y 12 tienen la distancia d1 más corta posible en la dirección Ysp entre sí. Simultáneamente, estas articulaciones de plataforma de soporte 9a, 12a se colocan lo más cerca posible de la plataforma de soporte 17 y lo más cerca posible del plano Xsp-Ysp. Las restricciones se establecen en este caso por la geometría de la articulación y es posible hacer una interfaz mecánica común para estas articulaciones de plataforma de soporte para aumentar la compacidad. Por tanto, la primera 9a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y una primera 12a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3 se colocan en la plataforma de soporte 17 con una primera distancia d1 entre sí.
- Las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 13a para los enlaces 8 y 13 están montadas con una distancia d2 en la dirección Ysp entre sí. Esta distancia d2 debe ser mayor que el diámetro de la plataforma de soporte 17 para evitar colisiones entre el enlace 13 y la plataforma de soporte 17 en valores Yb altos (extremo superior del espacio de trabajo 6b) y entre el enlace 8 y la plataforma de soporte 17 a valores Yb bajos. Por tanto, una segunda 8a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y una segunda 13a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3 se colocan en la plataforma de soporte 17 con una segunda distancia d2 entre sí. En algunas realizaciones, la primera distancia d1 (p. ej., una línea recta que se extiende entre los centros de las articulaciones forma la primera distancia) y la segunda distancia d2 (p. ej., una línea recta que se extiende entre los centros de las articulaciones forma la segunda distancia d2) son paralelas con una eje Y Ysp del sistema de coordenadas de plataforma de soporte Xsp, Ysp, Zsp con un origen definido por la plataforma de soporte 17. La segunda distancia d2 es diferente de la primera distancia, aquí mayor que la primera distancia d1, por ejemplo, en la dirección del eje Ysp. Por tanto, las articulaciones de plataforma de soporte 9a y 12a se colocan con una pequeña distancia d1 entre sí, y las articulaciones de colocación de soporte 8a y 13a se colocan con una distancia d2 mayor entre sí.
- En la figura 13A, ambas articulaciones de plataforma de soporte 8a, 13a de los enlaces de soporte 8 y 13 necesitan interfaces mecánicas extendidas para obtener un ángulo adecuado 50 (véase la figura 9).
- Las articulaciones de plataforma de soporte 10a, 11a para los enlaces 10 y 11 (SL2_P1) se montan lo más cerca posible del plano XspYsp, pero debido a su gran separación d3 en la dirección Ysp, deben montarse a una distancia del plano XspYsp para evitar colisiones con los objetos que se procesarán. Las articulaciones de plataforma de soporte para el enlace 10 no necesitan colocarse tan lejos en la dirección Xsp como las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a para los enlaces 8 y 9, lo que significa una interfaz mecánica 115 menos complicada. La distancia d3 en la dirección Ysp se ha seleccionado para que sea la misma que la distancia d2, aunque no es necesario. Dicho de otra forma, las articulaciones de plataforma de soporte 10a, 11a de los dos enlaces de soporte 10, 11 se colocan en la plataforma de soporte 17 con una tercera distancia d3 entre sí. En algunas realizaciones, la tercera distancia d3 es mayor que la primera distancia d1 en la dirección del eje Ysp. En algunas realizaciones, una línea a través de las articulaciones que forma la tercera distancia d3 es paralela al eje Y_{sp}. Por tanto, las articulaciones de plataforma de soporte 10a y 11a están ubicadas a una gran distancia entre sí (tercera distancia d3).
- Las articulaciones de plataforma de soporte 10a, 11a del segundo varillaje de soporte SL2 se colocan más cerca de un plano definido por los ejes Xsp e Ysp que la segunda 8a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y la segunda 13a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3. La primera 9a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y la primera 12a de la articulación de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3 se colocan más cerca de un plano definido por los ejes Xsp e Ysp que las articulaciones de plataforma de soporte 10a, 11a del segundo varillaje de soporte SL2.
- Las articulaciones de plataforma de soporte 10a, 11a del segundo varillaje de soporte SL2 se colocan en la plataforma de soporte 17 a una distancia del punto de conexión 23a que es menor que la quinta distancia d5 y la séptima distancia d7, en la dirección del eje Zsp. Por tanto, las articulaciones de plataforma de soporte 10a y 11a se colocan más cerca del punto de conexión 23a que las articulaciones de plataforma de soporte 8a y 13a, en la dirección del eje Zsp.

En algunas realizaciones, la primera distancia d1 está definida por una distancia mínima implementable necesaria para montar la primera 9a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y la primera 12a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3 lo más cerca posible entre sí.

La figura 13C muestra la posibilidad de usar un objeto virtual 120 que consiste en rectángulos paralelos para facilitar la colocación inicial de las articulaciones de plataforma de soporte en, por ejemplo, un sistema CAD. Por tanto, se definen cuatro rectángulos paralelos (120 a-d) a diferentes distancias en dirección Zsp negativa desde el origen del sistema de coordenadas de plataforma. Los lados de los rectángulos son paralelos a los ejes Xsp e Ysp. En la figura,

los rectángulos son de la misma dimensión, lo que no es necesario. El objeto virtual 120 se define para abarcar el motor de husillo 110, si este se usa, y para obtener la accesibilidad necesaria en las aplicaciones. Cuando se han definido los rectángulos, se realizan las siguientes colocaciones de articulaciones de plataforma de soporte:

- El origen del sistema de coordenadas de plataforma de soporte se coloca en el centro del primer rectángulo 120a.
- Las articulaciones de plataforma de soporte 9a, 12a para los enlaces de soporte 9 y 12 se colocan en el medio del borde izquierdo del segundo rectángulo 120b.
- Las articulaciones de plataforma de soporte 10a, 11a para los enlaces de soporte 10 y 11 (SL2_P1) se colocan en las esquinas derechas del tercer rectángulo 120c.
- Las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 13a para los enlaces de soporte 8 y 13 se colocan en las esquinas derechas del cuarto rectángulo 120d.

El orden de los rectángulos en la dirección Zsp negativa es 120a, b, c y d. Este objeto virtual 120 se ha encontrado útil cuando se encuentran posiciones iniciales de articulación de plataforma de soporte cuando se realiza una optimización, véase la figura 5. Por supuesto, el objeto 120 también podría ser una plataforma real, incluso si las plataformas cilíndricas son más compactas y se adaptarán mejor a un motor de husillo u otros accionadores de proceso. La plataforma también se puede diseñar usando marcos, como se ejemplifica en la figura 13D. Por tanto, la plataforma de soporte 17 está diseñada de acuerdo con las colocaciones óptimas de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a. Las razones para usar un marco en lugar de una plataforma sólida son, por ejemplo, la necesidad de enfriamiento de los accionadores de proceso, posibilidades de obtener una mayor relación rigidez-peso y mejorar la integración de las interfaces mecánicas para las articulaciones de plataforma de soporte. La plataforma de marco 17 en la figura 13D consiste en un apoyo con una parte circular 110a paralela al plano XspYsp y otra parte circular 110b en un ángulo con respecto a la parte 110a. Dos vigas 110c y 110d están montadas entre las partes circulares 110a y 110b para obtener la rigidez necesaria para la plataforma. El accionador de proceso 108 está representado por un cilindro. La plataforma de soporte 17 comprende aquí un accionador 108 entre las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a. El sistema de coordenadas de plataforma se define en el medio del disco/cara frontal del cilindro. Los enlaces de soporte y las interfaces mecánicas con números de referencia como en la figura 13A. Por supuesto, hay muchas posibilidades de diseño diferentes para un marco de plataforma. Por medio del análisis FEM, el marco puede optimizarse para las fuerzas y pares de las herramientas y las fuerzas de enlace que dan equilibrio de fuerza y par.

La figura 14A muestra los montajes de las articulaciones de plataforma de soporte en el caso en el que los enlaces 10 y 11 están en la configuración de conjunto SL2_P2. La figura 14B ilustra las posiciones de los orígenes de las articulaciones de plataforma de soporte en un borrador 3D. La colocación de las articulaciones de plataforma de soporte para los enlaces 9 y 12 es la misma que en la figura 1, y las articulaciones de plataforma de soporte para los enlaces de soporte 8 y 13 se han movido una distancia corta en la dirección Zsp negativa para evitar colisiones entre los enlaces de soporte 10, 11 y 8/13. La gran diferencia con respecto a la figura 1 es que las articulaciones de plataforma de soporte para los enlaces de soporte 10 y 11 se colocan en coordenadas Xsp negativas en lugar de positivas. Con las articulaciones de plataforma de soporte 10a, 11a para los enlaces de soporte 10 y 11 (SL2_P2) en el mismo lado de la plataforma de soporte 17 que las articulaciones de plataforma de soporte 9a, 12a de los enlaces de soporte 9 y 12 y con una distancia más corta d3, se descubrió que las articulaciones de plataforma de soporte 10a, 11a para los enlaces 10 y 11 (SL2_P2) podrían desplazarse una distancia más corta desde el plano Xsp-Ysp. La plataforma de soporte 17 comprende aquí un accionador 108 entre las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a.

En todas las realizaciones ilustradas, y como puede verse, por ejemplo, en las figuras 13A-16B, la primera 9a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y la primera 12a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3 se colocan en la plataforma de soporte 17 a distancias respectivas desde un punto de conexión 23a que son menores que una distancia desde el punto de conexión 23a a la segunda 8a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y la segunda 13a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte 12, 13, en la dirección del eje Zsp. Por tanto, las articulaciones de plataforma de soporte 9a y 12a se colocan tan cerca como sea posible del punto de conexión 23a (o un TCP definido), es decir, a valores tan altos como sea posible de Zsp y Xsp en la figura 14A. Las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 13a se colocan a una distancia mayor del punto de conexión 23a (o un TCP definido) en la dirección de la Zsp que las articulaciones de plataforma de soporte 9a, 12a. También, la segunda 8a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y la segunda 13a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3 se colocan en la plataforma de soporte 17 a una distancia de la primera 9a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y la primera 12a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3, en la dirección del eje Xsp. Por tanto, las articulaciones de plataforma de soporte 9a y 12a están separadas a lo largo del eje Xsp de las articulaciones de plataforma de soporte 8a y 13a. "A una distancia" aquí depende de dónde está el centro del espacio de trabajo en el plano Yb-Zb. Cuando se ha decidido el centro del espacio de trabajo en el plano Yb-Zb, la optimización de la distancia entre las articulaciones 8a, 9a y las articulaciones 12a, 13a en la dirección Xsp se puede hacer con una distancia inicial igual a la distancia entre las articulaciones 8a, 9a y las articulaciones 12a, 13a, en la dirección Zsp. Si el centro del espacio de trabajo en el plano Yb-Zb está diseñado para estar cerca del plano formado por las guías 1 y 2, la optimización terminará con una distancia más corta y cuando

el centro del espacio de trabajo en el plano Yb-Zb esté diseñado para estar lejos del plano formado por las guías 1 y 2, la optimización normalmente terminará con una distancia mayor. Por supuesto, el valor óptimo de la distancia entre las articulaciones 8a, 9a y las articulaciones 12a, 13a en la dirección Xsp también dependerá de las longitudes de los enlaces de la plataforma de soporte. Además, las articulaciones de plataforma de soporte 10a, 11a de los dos enlaces de soporte 10, 11 se colocan en la plataforma de soporte 17 a una distancia del punto de conexión 23a (o TCP) que es menor que una distancia desde el punto de conexión 23a a la segunda 8a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y la segunda 13a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3, en la dirección del eje Zsp. Por tanto, las articulaciones de plataforma de soporte 10a y 11a están más cerca del punto de conexión 23a (o TCP) a lo largo del eje Zsp que las articulaciones de plataforma de soporte 8a y 13a, respectivamente. Además, en algunas realizaciones, las articulaciones de plataforma de soporte 10a y 11a están ubicadas lo más cerca posible del punto de conexión 23a (o TCP) según lo permitan las restricciones mecánicas.

La figura 15 muestra una configuración diferente de los enlaces en comparación con la figura 1. Aquí solo hay un enlace 10 que conecta la plataforma con el carro 5. En su lugar, el enlace 11 está ahora conectado al carro 6, pero en su lugar podría estar conectado al carro 4. Por supuesto, en su lugar, el enlace 10 podría conectarse al carro 6 o al carro 4, con el enlace 11 conectado al carro 5. Dicho de otra forma, una primera 10b de las articulaciones de carro 10b, 11b del segundo varillaje de soporte SL2 está montada en el primer carro 4, y una segunda 11b de las articulaciones de carro 10b, 11b del segundo varillaje de soporte SL2 está montada en el segundo carro 5. En algunas realizaciones, una primera 10b de las articulaciones de carro 10b, 11b del segundo varillaje de soporte SL2 o una segunda 11b de las articulaciones de carro 10b, 11b del segundo varillaje de soporte SL2 está montada en el primer carro 4 o el tercer carro 6. Usando la optimización en este caso, las mismas reglas que se han señalado en relación con las figuras 13A-14B se pueden usar para todas las articulaciones de plataforma de soporte sin la articulación de plataforma de soporte 11a para el enlace de soporte 11.

Las figuras 16A y 16B ilustran una configuración de articulación de plataforma de soporte para la PKM en la figura 15 con el enlace de soporte 10 en la configuración de conjunto SL2P2. Las articulaciones de plataforma de soporte para los enlaces de soporte 9 y 12 y para los enlaces de soporte 8 y 13 son las mismas que en la figura 15, mientras que las articulaciones de plataforma de soporte para los enlaces 10 y 11 se han reubicado. El enlace de soporte 11 ahora es paralelo a los enlaces de soporte 12 y 13 y se encuentra que la distancia entre las articulaciones de plataforma de soporte 11a, 13a para los enlaces de soporte 11 y 13 debe ser lo más grande posible con respecto a las coordenadas Xsp e Ysp.

La figura 17 ilustra una PKM de acuerdo con otra realización. Aquí se han añadido dos nuevos enlaces. Los nuevos enlaces incluyen accionadores telescópicos 126 y 127, preferentemente accionadores de bola y tornillo accionados por motor. Estos accionadores controlan las longitudes de los enlaces entre las articulaciones 128 y 129 y las articulaciones 130 y 131. Al controlar las longitudes de estos enlaces, es posible controlar el ángulo de espacio 124 entre el eje Zsp 125 (que es paralelo al eje Zb) y el árbol 122, lo que significa que el árbol 122 con la plataforma de herramienta 123 puede inclinarse en cualquier dirección mediante la rotación alrededor de los ejes Xsp e Ysp del sistema de coordenadas de plataforma (no mostrado en esta figura). La inclinación es posible gracias a una articulación de árbol 121 montada entre el árbol 122 y la plataforma 17. Los dispositivos de aplicación, que incluyen un accionador de proceso 108 y una herramienta 22, están montados en la plataforma de herramienta 123. En esta figura también se muestra el controlador 84, junto con el cableado para el accionador en el carro 6 (no mostrado) y el accionador para el telescopio 78. Por tanto, la PKM comprende un árbol 21 conectado a la plataforma de soporte 17 a través de una articulación de árbol 121 en un punto de conexión 23a. El punto de conexión 23a define un origen del sistema de coordenadas de plataforma de soporte Xsp, Ysp, Zsp. En algunas realizaciones, la primera 9a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y la primera 12a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3 se colocan con distancias de implementación mínimas a la articulación de árbol 121. Por tanto, la primera 9a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y la primera 12a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3 se colocan lo más cerca posible de la articulación de árbol 121. En algunas realizaciones, la primera 9a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y la primera 12a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3 se colocan en la articulación de árbol 121. En algunas realizaciones, la plataforma de soporte 17 comprende una estructura de epoxi reforzada con carbono dispuesta entre las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a. El epoxi reforzado con carbono (abreviado como carbono) hará posible diseñar una estructura de plataforma de soporte de alta rigidez y peso ligero. Usando varillas de carbono, también es posible obtener un diseño rentable. El peso ligero hace posible aumentar la velocidad y aceleración máximas de la PKM.

La figura 18A ilustra una plataforma de soporte 17 que está diseñada basándose en las colocaciones de las articulaciones de plataforma de soporte, y una base de herramienta 140 conectada a la misma, de acuerdo con una realización de la divulgación. En esta realización, el accionador de proceso, como, por ejemplo, un motor de husillo, se monta fuera de la plataforma de soporte 17. Por lo tanto, no es necesario dejar un espacio para el accionador de proceso dentro de la plataforma de soporte 17 y hay más posibilidades disponibles para diseñar una plataforma de alta rigidez. Por tanto, la figura 18 ejemplifica un diseño de plataforma de soporte, donde la articulación de árbol 121 (para el árbol 122 en la figura 17) está integrada en una plataforma de soporte 17 que comprende tubos 136a, 136b,

137 y 138. Los tubos sostienen las interfaces mecánicas 112, 114 y 115 para las articulaciones de plataforma de soporte. La articulación de árbol 121 es la misma que en la figura 11C y el sistema de coordenadas de plataforma tiene su origen en el centro de la articulación.

5 La figura 18B muestra la misma estructura de plataforma de soporte que en la figura 14B, pero aquí el equipo de herramienta 108 está montado delante de la estructura de plataforma de soporte 110. Entonces, desde el punto de vista de la rigidez del manipulador, es favorable introducir dos enlaces más, en concreto, dos enlaces de herramienta 126 y 127 para soportar el equipo de herramienta. La optimización ha demostrado que se obtienen mejores resultados si la distancia 151 entre las articulaciones de herramienta 129, 131 de los enlaces de herramienta 126, 127 es lo más corta posible. Esto también es necesario para tener una buena accesibilidad para la herramienta en relación con el objeto que es procesado por la herramienta. Para mantener constante la orientación de la herramienta en todo el espacio de trabajo, el enlace 127 está montado en el equipo de herramienta y el carro para el enlace de soporte 12 de tal manera que el enlace de herramienta 127 es paralelo al enlace de soporte 12 y tiene la misma longitud que el enlace de soporte 12. De la misma manera, el enlace de herramienta 126 debe ser paralelo y tener la misma longitud que el enlace de soporte 9. Para solucionar imprecisiones en el sistema de enlace, es una ventaja tener una articulación de árbol 121 que sea una articulación de 2 DOF, por ejemplo, una articulación cardán de acuerdo con la figura 11C, entre la parte delantera de la plataforma de soporte 110 y el equipo de herramienta 108. Con un equipo de herramienta corto, desde el punto de vista de la accesibilidad, es ventajoso tener un árbol que conecte la articulación cardán con el equipo de herramienta y la articulación puede denominarse articulación de árbol 121. La principal ventaja con el uso de ocho (8) enlaces para controlar el equipo de herramienta en 3 DOF como se muestra en la figura 18B es que las fuerzas en las direcciones x e y en el punto central de la herramienta (indicado aquí como 23a) no crearán grandes pares en la plataforma de soporte como en el caso de usar seis enlaces para la manipulación de herramienta de 3 DOF como en la figura 14B. Esto dará como resultado una rigidez mucho mayor del manipulador y la rigidez dependerá mucho menos del tamaño de la plataforma de soporte. Si, por ejemplo, el tamaño de la plataforma se reduce a la mitad de su tamaño original, la rigidez se reducirá con solo un 5 - 10 % usando ocho enlaces mientras que, en el caso de seis enlaces, se reducirá con un 60 - 80 %. Dicho de otra forma, la PKM comprende una base de herramienta 140 que incluye la articulación de árbol 121, el árbol 122 y una plataforma de herramienta 123. El árbol 122 también está conectado a la plataforma de herramienta 123. La PKM comprende además uno o más enlaces de herramienta TL1, TL2, comprendiendo cada uno un enlace de herramienta 126, 127 conectado en un extremo a través de una articulación de base de herramienta 129; 131 a la base de herramienta 140, y en el otro extremo conectado a través de una articulación de carro 128; 130 a un carro dispuesto para moverse a lo largo de una trayectoria. Un enlace de herramienta 126 de un varillaje de herramienta TL1 es paralelo y tiene la misma longitud que uno de los enlaces 9 de los varillajes de plataforma de soporte SL1, SL2, SL3. Un enlace de herramienta 127 de otro varillaje de herramienta TL2 es paralelo y tiene la misma longitud que otro de los enlaces 12 de los enlaces de plataforma de soporte SL1, SL2, SL3. Las articulaciones de base de herramienta 129; 131 se montan lo más cerca posible entre sí. Si la longitud de los enlaces de herramienta 126 y 127 se puede cambiar, por ejemplo, mediante accionadores de bola y tornillo, será posible cambiar la orientación del equipo de herramienta en 2 DOF. En ese caso, los enlaces de herramienta 126 y 127 no necesitan ser paralelos a los enlaces de soporte 12 y 9, respectivamente.

40 La figura 18C ilustra la misma disposición que la figura 18B. La única diferencia es que las distancias d_2 y d_3 tienen nuevos valores, que corresponden a un segundo óptimo de rigidez local, obtenidos por el método de optimización descrito para este caso especial con enlaces de herramienta 126 y 127 añadidos. En este caso, la segunda distancia d_2 es más corta que la primera distancia d_1 . Sin los enlaces de herramienta 126 y 127 (como en la figura 14B), la rigidez será mucho menor con la segunda distancia d_2 más corta que la primera distancia d_1 . La alta rigidez y la colocación óptima de la articulación obtenida para los montajes de los enlaces en las figuras 18B y 18C es independiente de la dirección de los enlaces de soporte 10 y 11. Por tanto, se obtienen los mismos resultados para los casos mostrados en las figuras 13B y 13C.

50 En un ejemplo ilustrativo en el que se realizó el método de acuerdo con el primer aspecto, las articulaciones de plataforma de soporte primero tenían sus posiciones iniciales separadas como se muestra en la figura 8. Después, al mover las articulaciones de plataforma de soporte de acuerdo con el método descrito con varias iteraciones usando fuerzas de herramienta de aplicación definidas, el resultado fue que la rigidez aumentó cuanto más cerca entre sí se colocaron las articulaciones de plataforma de soporte indicadas con 9a y 12a (que tienen una distancia d_1 lo más pequeña posible entre sí), manteniendo eventualmente el resto de las articulaciones de plataforma de soporte a la mayor distancia posible con las limitaciones dadas por el tamaño de plataforma especificado. Manteniendo cerradas las articulaciones de plataforma de soporte indicadas con 9a y 12a, se descubrió mediante el método iterativo descrito que las articulaciones de plataforma de soporte indicadas con 9a y 12a deberían estar lo más cerca posible del centro del frente de plataforma de soporte (punto de conexión 23a). Procediendo a continuación con la colocación de las articulaciones de plataforma de soporte indicadas con 8a y 13a, se obtuvo una alta rigidez cuando estas articulaciones tenían la mayor distancia d_2 entre sí como fuera posible. Se obtuvo la máxima rigidez cuando también estaban a la mayor distancia posible de las articulaciones de plataforma de soporte indicadas con 9a y 12a en la dirección Z_{sp} . Asimismo, se descubrió que la rigidez podría aumentarse significativamente aplicando también una distancia en la dirección X_{sp} entre las articulaciones de plataforma de soporte indicadas con 8a/13a y las articulaciones de plataforma de soporte indicadas con 9a/12a. La colocación óptima dependía de los tamaños relativos de las fuerzas y pares en la herramienta y, para evitar iniciar el procedimiento de optimización, de acuerdo con el método descrito, de una colocación de articulación inicial arbitraria cuando se aplicaron nuevas configuraciones de fuerzas y pares, se introdujo

una colocación de articulación inicial de acuerdo con la figura 9. Esto redujo el número de iteraciones necesarias y se descubrió que el número de iteraciones podría reducirse adicionalmente en promedio usando la colocación de articulación inicial de acuerdo con la figura 10.

- 5 Independientemente de las colocaciones de articulaciones iniciales que se usaron, se descubrió que una alta rigidez de la PKM siempre se encontró cuando la PKM tenía las siguientes características de acuerdo con el cuarto aspecto:
- una primera 9a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y una primera 12a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3 se colocan en la plataforma de soporte 17 con una primera distancia d_1 entre sí,
 - 10 - una segunda 8a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y una segunda 13a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3 se colocan en la plataforma de soporte 17 con una segunda distancia d_2 entre sí, en donde la segunda distancia d_2 es diferente de la primera distancia d_1 ,
 - se define un sistema de coordenadas de plataforma de soporte con ejes perpendiculares X_{sp} , Y_{sp} , Z_{sp} con un origen en un punto de conexión 23a en una cara frontal 150 de la plataforma de soporte 17a, en donde el eje Z_{sp} está en una dirección normal a la cara frontal 150,
 - 15 - la primera 9a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 se coloca en la plataforma de soporte 17 a una cuarta distancia d_4 en la dirección del eje Z_{sp} desde el punto de conexión 23a que es menor que una quinta distancia d_5 en la dirección del eje Z_{sp} desde el punto de conexión 23a a la segunda 8a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1. La primera 12a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3 se coloca en la plataforma de soporte 17 a una sexta distancia d_6 en la dirección del eje Z_{sp} desde el punto de conexión 23a, que es menor que una séptima distancia d_7 en la dirección del eje Z_{sp} desde el punto de conexión 23a a la segunda 13a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte 12, 13,
 - 20 - la segunda 8a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 se coloca en la plataforma de soporte 17 a una octava distancia d_8 en la dirección del eje X_{sp} desde la primera 9a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1, y la segunda 13a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3 se coloca en la plataforma de soporte 17 a una novena distancia d_9 en la dirección del eje X_{sp} desde la primera 12a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3.

En algunas realizaciones, las simulaciones han demostrado que se logra una rigidez aún mayor cuando se cumplen los siguientes requisitos:

- 35 - d_1 lo más pequeño posible, por tanto, una distancia implementable mínima necesaria para montar las articulaciones de plataforma de soporte 9a y 12a lo más cerca posible entre sí (p. ej., en la dirección del eje Y_{sp});
- d_2 es tan grande como lo permita la plataforma de soporte, por tanto, una distancia implementable más grande para montar las articulaciones de plataforma de soporte 9a y 12a tan lejos entre sí como sea posible (p. ej., en la dirección del eje Y_{sp});
- 40 - d_4 y d_6 tan pequeños como sea posible en la dirección del eje Z_{sp} , por tanto, distancias mínimas implementables para poder colocar las articulaciones 9a y 12a lo más cerca posible del punto de conexión 23a en la dirección Z_{sp} como lo permita la plataforma de soporte;
- d_5 y d_7 tan grandes como sea posible en la dirección del eje Z_{sp} , por tanto, las distancias implementables más grandes posibles para montar las articulaciones 8a y 13a lo más lejos posible del punto de conexión 23a como lo permita la plataforma de soporte;
- 45 - d_8 y d_9 no deben ser cero en la dirección del eje X_{sp} , por tanto, debe haber una distancia entre las articulaciones 8a y 9a, y entre las articulaciones 13a y 12a, respectivamente en la dirección del eje X_{sp} . Un criterio de diseño obtenido de la optimización con respecto a la selección de d_8 y d_9 es que d_8 y d_9 se establecen en valores que hacen que la línea entre las articulaciones de plataforma de soporte 8 y 9 tenga un ángulo de rotación alrededor del eje Y_{sp} y que hacen que la línea entre las articulaciones de plataforma de soporte 12 y 13 tenga un ángulo de rotación alrededor del eje Y_{sp} . El valor de estos ángulos de rotación depende de dónde se coloca el centro del espacio de trabajo en el plano X_{sp}/Y_{sp} y podría estar típicamente entre 20 y 60 grados.

55 En algunas realizaciones, las simulaciones han demostrado que también se logra una rigidez aún mayor cuando se cumplen los siguientes requisitos:

- d_1 lo más pequeño posible, por tanto, una distancia implementable mínima necesaria para montar las articulaciones de plataforma de soporte 9a y 12a lo más cerca posible entre sí (p. ej., en la dirección del eje Y_{sp});
- 60 - las articulaciones de plataforma de soporte 8a y 13a se colocan de tal manera que la segunda distancia d_2 estará en el mismo orden que la distancia entre las articulaciones de plataforma de soporte 12a y 13a y la distancia entre las articulaciones de plataforma de soporte 8a y 9a.
- d_4 y d_6 tan pequeños como sea posible en la dirección del eje Z_{sp} , por tanto, distancias mínimas implementables para poder colocar las articulaciones 9a y 12a lo más cerca posible del punto de conexión 23a en la dirección Z_{sp} como lo permita la plataforma de soporte;
- 65 - d_8 y d_9 no deben ser cero en la dirección del eje X_{sp} , por tanto, debe haber una distancia entre las

articulaciones 8a y 9a, y entre las articulaciones 13a y 12a.

La colocación de las articulaciones de plataforma de soporte indicadas con 10a y 11a, usando el método, mostró que estas articulaciones de plataforma de soporte aumentarán aún más la rigidez si se colocan lo más lejos posible entre sí (como lo permite la plataforma de soporte, en la dirección Ysp). Dicho de otra forma, el segundo varillaje de soporte SL2 comprende entonces dos enlaces de soporte 10, 11, y las articulaciones de plataforma de soporte 10a, 11a de los dos enlaces de soporte 10, 11 se colocan en la plataforma de soporte 17 con una tercera distancia d3 entre sí, en donde la tercera distancia d3 es mayor que la primera distancia d1. El método también muestra que se obtuvo un aumento en la rigidez colocando las articulaciones de plataforma de soporte indicadas con 10a y 11a entre las articulaciones de plataforma de soporte indicadas con 8a/13a y 9a/12a (en la dirección Zsp). Por ejemplo, el segundo varillaje de soporte SL2 comprende dos enlaces de soporte 10, 11 y las articulaciones de plataforma de soporte 10a, 11a de los dos enlaces de soporte 10, 11 se colocan en la plataforma de soporte 17 a una distancia del punto de conexión 23a, respectivamente, que es menor que una distancia desde el punto de conexión 23a a la segunda 8a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y la segunda 13a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3, y mayor que una distancia desde el punto de conexión 23a a la primera 9a de las articulaciones de plataforma de soporte 8a, 9a del primer varillaje de soporte SL1 y la primera 12a de las articulaciones de plataforma de soporte 12a, 13a del tercer varillaje de soporte SL3, en la dirección del eje Zsp.

En algunas realizaciones, las simulaciones han demostrado que se logra una rigidez máxima cuando se cumplen los siguientes requisitos, además de los requisitos enumerados anteriormente, también se cumplen:

- d3 es tan grande como lo permita la plataforma de soporte, por tanto, una distancia implementable más grande para montar las articulaciones de plataforma de soporte 10a y 11a tan lejos entre sí como sea posible (p. ej., en la dirección del eje Ysp);
- las articulaciones de plataforma de soporte indicadas con 10a, 11a se colocan en la plataforma de soporte 17 a una distancia del punto de conexión 23a, respectivamente, que es más pequeño que d5 y d7, pero mayor que d4 y d6, en la dirección del eje Zsp.

El montaje de trayectorias que son guías lineales se realiza normalmente en estructuras de soporte como pilares rígidos o marcos de vigas. Para obtener una alta rigidez, coincidiendo con la rigidez del diseño de la PKM, las estructuras de soporte serán muy pesadas y, por lo tanto, difíciles de montar. Además del problema de montar las estructuras de soporte, también existe el problema de lograr una modularidad que haga posible cambiar fácilmente el espacio de trabajo de la PKM. Tal modularidad es muy difícil de obtener para pilares rígidos o estructuras soldadas y, por lo tanto, debe usarse algún tipo de concepto de marco modular. Sin embargo, los componentes de un concepto modular de este tipo serán pesados cuando se necesite una gran rigidez. Obtener una alta rigidez con componentes de peso ligero no parece ser realista, pero en las figuras 19-23 se ilustra un concepto que en realidad puede ofrecer tanto una alta rigidez como una alta precisión usando, en relación con las soluciones actuales, componentes ligeros y lo suficientemente pequeños para montarse sin equipo de manipulación motorizado. El concepto se usa preferentemente para montar guías lineales en paredes, techos, pilares o bloques de hormigón. Los bloques de hormigón se pueden mover en, por ejemplo, cojines de aire, o rieles, o mediante una carretilla elevadora. Las guías lineales están montadas en el mismo plano y pueden usarse para montar cualquiera de las PKM que se ilustran en el presente documento.

La figura 19A ejemplifica una sección de una guía lineal 160 con dos apoyos de montaje de guía 165 y 166. El concepto se describirá usando solo esta sección de una guía lineal, pero en aplicaciones donde se usará la PKM ilustrada en las figuras anteriores, las guías son, por ejemplo, de entre 10 y 100 metros. A continuación, se ensamblan una o varias guías en serie y se usarán varios apoyos de montaje de guía 165. Una guía comprende un cuerpo alargado, p. ej., una viga. La distancia entre los apoyos de montaje 165 y 166 está determinada por los requisitos de rigidez y la rigidez de la(s) guía(s). Si fuera necesario, la(s) guía(s) pueden estar soportadas por una viga adicional, que luego se monta en los apoyos de montaje 165. La guía en las figuras 19-23 tiene dos guías de cojinete 163 y 164 para el mecanismo de cojinete lineal y dos vigas de montaje de guía 161 y 162 para el montaje de la guía. Las guías de cojinete pueden ser una parte integrada de la viga de la guía o pueden montarse o unirse de otra manera a la superficie de la viga de la guía. Por supuesto, existen muchas otras posibles soluciones mecánicas en guías de cojinetes y mecanismos de montaje para guías usadas en la industria. Un apoyo de montaje de guía 168 incluye dos abrazaderas mecánicas 166 y 167 para conectar rígidamente el apoyo de montaje 165 a la guía a través de las vigas de montaje de guía 161 y 162. Las vigas de montaje de guía 161 y 162 están dispuestas en diferentes lados opuestos de la viga de la guía. Cada una de las sujeciones mecánicas 166, 167 se acopla y sujeta una diferente de las vigas de montaje de guía 161, 162, para así mantener la guía de forma segura en su lugar. El apoyo de montaje de guía 165 tiene cuatro orificios 168 que se usan para montar el apoyo de montaje de guía 165 en una pared o un pilar. En la figura 19A hay otros cuatro orificios opcionales 169, que se usan para ajustar la posición y orientación del apoyo de montaje de guía en relación con la superficie del objeto en la que está montado. Sin embargo, el número de orificios puede ser más de cuatro o menos de cuatro.

La figura 19B ilustra componentes usados para obtener fácilmente un montaje de alta precisión de la guía. Se puede usar un láser 250 para generar referencias de rayos de luz 176, 185, 186 y 192 para el montaje de componentes y para la perforación de orificios. En la figura se adopta un sistema de medición de nivelación láser simple, pero también

se pueden usar sistemas de interferómetro láser y servo más sofisticados. Para perforar orificios 173 para el montaje del apoyo de montaje de guía 165 con los orificios 168 correspondientes, se usan hojas de plantilla 170 y 172. Estas hojas de plantilla incluyen agujeritos de rayo láser 174 y 175 para el rayo láser 176. Como alternativa, un sistema basado en láser más avanzado puede apuntar directamente a las posiciones donde se perforarán los orificios 173.

5 Para montar una cadena portacables para el sistema de accionador lineal que se ejecuta en la guía 160, los apoyos de cadena portacables 187 y 188 también están montados en la pared de los pilares. Debería entenderse que el número de apoyos de cadena portacables puede ser más o menos de dos. Estos apoyos de cadena portacables tienen agujeritos de rayo láser 190 y 191 para el rayo láser 192 para obtener nivelación cuando se hacen orificios en la pared para el orificio de montaje como se ejemplifica por 189. Se puede usar una plantilla y también es posible usar rayos
10 láser para encontrar la posición de los orificios de perforación directamente. Para facilitar el montaje de la guía, se usan apoyos de sujeción de guía 177 y 178. En la figura, estos están colocados de la misma manera que los apoyos de cadena portacables, pero ahora usando agujeritos 182 y 183 para el rayo láser 185 y perforando orificios 179. Los apoyos de sujeción de guía 177 y 178 tienen forma de L, pero alternativamente pueden tener otras formas. El apoyo de sujeción de guía 177 y 178, respectivamente, incluye un mecanismo de sujeción de guía 180 para mover con alta
15 precisión la guía hacia arriba o hacia abajo durante el ensamblaje. En la figura, el mecanismo de sujeción de guía 180 es simplemente un tornillo, pero se pueden usar otros mecanismos, tales como elevadores de tijera o accionadores lineales accionados por motor. Cuando se han montado los apoyos de sujeción de guía, el rayo de luz láser 186 se usa para ajustar el mecanismo de sujeción de guía 180 de todos los soportes de sujeción de guía. El agujerito 184 se usa entonces para ajustar la plataforma de sujeción de guía 181 de todos los apoyos de sujeción de guía, respectivamente, al mismo nivel. También aquí se pueden usar otros sistemas basados en láser más avanzados.
20 Cuando se generan los rayos láser 174, 185 y 186, es importante usar un mecanismo de alta precisión para el posicionamiento del láser 250 con nivelación exacta. Esto se puede hacer usando, por ejemplo, trípodes o un sistema manipulador especial. Usando un interferómetro láser avanzado, la configuración del equipo láser será más fácil. La distancia entre los apoyos de guía 165 y 166 determinará, por supuesto, la distancia entre las plantillas de apoyo de
25 guía 170 y 172. Si, por ejemplo, una pared tiene partes en las que no se pueden montar los apoyos de guía, por supuesto, es posible ajustar la distancia entre los apoyos de guía en la guía.

La figura 20A ilustra la situación cuando la guía se ha elevado sobre los apoyos de sujeción de guía 177 y 178. Si las plataformas de sujeción de guía 181 (figura 19B) se han ajustado correctamente antes de que se levante la guía, la
30 guía estará soportada uniformemente por todas las plataformas de sujeción de guía 181. La guía 160 con los apoyos de montaje de guía montados 165 y 166 se puede levantar con, por ejemplo, una carretilla elevadora y luego deslizarse sobre las plataformas de sujeción de guía hasta que los apoyos de montaje de guía toquen la pared o los pilares, en los que se montará la guía. Si una pared es completamente plana, los soportes de montaje de guía se pueden atornillar simplemente en los orificios hechos en la pared de acuerdo con la figura 19B. Sin embargo, por lo general, la calidad
35 de una pared o un pilar de hormigón no es lo suficientemente alta y, a continuación, se coloca una placa de acero de ajuste de apoyo de montaje de guía 170 detrás del apoyos de montaje de guía 165. Cuando se necesita una placa de acero de este tipo, también se puede usar como plantilla de apoyo de montaje de guía de acuerdo con la figura 19B. Con la placa de acero de ajuste de apoyo de montaje de guía y al menos tres tornillos de ajuste de apoyo de montaje de guía en los orificios 169, el apoyo de montaje de guía se puede ajustar en cuatro DOF. Entonces, el apoyo de
40 montaje de guía se puede ajustar en dos DOF adicionales teniendo los orificios 168 más grandes que los tornillos usados para el montaje.

La figura 20B ilustra una sección transversal a lo largo de A - A del apoyo de montaje de guía 165 en la figura 20A, para ilustrar cómo funciona el ajuste. La sección transversal A - A del apoyo de montaje de guía 165 ilustra dos tipos
45 de tornillos. El tornillo 201 mueve el apoyo de montaje de guía 165 hacia la pared/pilar 198 y el tornillo 202 mueve el apoyo de montaje de guía 165 en la dirección opuesta. Si la pared/pilar no es plano, para algunos apoyos de montaje de guía 165 habrá una distancia entre la pared/pilar y el apoyo de montaje de guía 165 cuando el apoyo de montaje de guía 165 se haya movido lo más cerca posible de la pared/pilares. Asimismo, puede haber una diferencia angular entre el apoyo de montaje de guía 165 y la pared/pilar. Esto se ilustra en la figura 20B por el espacio entre la placa de
50 acero de ajuste de apoyo de montaje de guía 170 y el apoyo de montaje de guía 165. Cuando la guía 160 se ha colocado en los apoyos de sujeción de guía 177 y se ha deslizado hacia la pared/pilares, los tornillos 201 y 202 se ajustan y se les da un par predefinido. El orificio 169 tiene una rosca interior como el inserto de orificio 200 en la pared/pilar. El diámetro del orificio 168 es mayor que el diámetro del tornillo 201, por lo que es posible aceptar ajustes en el plano de la pared/pilar 198. Para supervisar el ajuste con los tornillos 201 y 202 y, si es necesario, los ajustes de
55 los tornillos de apoyo de sujeción de guía 180, un sistema de medición láser (láser 250, rayo láser 193) puede usarse con agujeritos de rayo láser 193 y 194 en la guía de acuerdo con la figura 20A. Por supuesto, existen otras posibilidades además de los tornillos para el ajuste de la posición y orientación de los apoyos de montaje de guía en relación con la pared/pilares, por ejemplo, mediante el uso de calzas o cuñas metálicas.

60 La figura 21A ilustra la guía montada 160A junto con los siguientes componentes de montaje: los apoyos de montaje de guía 165, 166 (cabezas de tornillo no mostradas), las placas de acero de ajuste de apoyo de montaje de guía 170, 172 y los apoyos de cadena portacables 187, 188. 196 ilustra la cadena portacables. Como se puede ver, los apoyos de sujeción de guía no se usan aquí.

65 La figura 21B ilustra la posibilidad de montar la guía, con el mismo concepto de montaje que se ha descrito e ilustrado anteriormente, en los pilares 204 y 205. Estos pueden ser pilares de hormigón existentes o pilares de hormigón

movidos en su lugar por una carretilla elevadora, o manualmente usando cojines de aire o rieles.

La figura 22 ilustra el mismo concepto de montaje de guía que se ilustra en las figuras 19 y 20, pero ahora el concepto se usa para montar la guía 160 en el techo o en vigas horizontales por encima del espacio de trabajo de la PKM. La principal diferencia es la forma de los apoyos de sujeción de guía 206 y 207 y la forma de los apoyos de cadena portacables 209 y 210. Cada apoyo de sujeción de guía 206, 207 comprende tres partes, una primera parte horizontal que está unida al techo, una parte vertical y una segunda parte horizontal que llega por debajo de la guía. La parte vertical se conecta a la primera parte horizontal en un extremo y se conecta a la segunda parte horizontal en el otro extremo. Los apoyos de cadena portacables 209, 210 tienen forma de U. Debe mencionarse que los apoyos de cadena portacables ahora no deben montarse hasta que se haya montado la guía y se hayan retirado los apoyos de sujeción de guía.

La figura 23 ilustra el montaje de tres guías montadas en el techo 160a, 160b y 160c con los apoyos de montaje de guía 165a-166a, 165b-166b y 165c-166c, los apoyos de cadena portacables 209a-210a, 209b-210b, 209c-210c y las indicaciones de cadena portacables 196a, 196b, 196c. Obsérvese que la forma de los apoyos de cadena portacables 209b-210b es diferente de 209a-210a, 209c-210c. Los apoyos de cadena portacables 209b-210b tienen aproximadamente la misma forma que el apoyo de sujeción de guía 206, 207 en la figura 22. Esto es para evitar colisiones entre los enlaces para la guía 16b y la cadena portacables 196b. Como se ve en las figuras, las guías están montadas en el mismo plano.

Como se ha descrito, las guías lineales pueden montarse en el mismo plano y usarse como guías para una PKM. Por tanto, la divulgación también se refiere a un sistema que comprende una PKM, guías lineales y montajes de estas guías. La PKM comprende una plataforma de soporte 17, un primer varillaje de soporte SL1 que comprende uno, dos o más enlaces de soporte 8, 9, cada uno conectado en un extremo a la plataforma de soporte 17 a través de una articulación de plataforma de soporte 8a, 9a), y por el otro extremo conectado a un primer carro 4 a través de una articulación de carro 8b, 9b, en donde el primer carro 4 se puede mover a lo largo de una primera trayectoria 1 que define una primera guía, y el primer varillaje de soporte SL1 está dispuesto para transferir un primer movimiento a la plataforma de soporte 17. La PKM también comprende un segundo varillaje de soporte SL2 que comprende uno, dos o más enlaces de soporte 10, 11; 10 conectados cada uno por un extremo a la plataforma de soporte 17 a través de una articulación de plataforma de soporte 10a, 11a, y en el otro extremo conectado a un segundo carro 5 a través de una articulación de carro 10b, 11b, en donde el segundo carro 5 se puede mover a lo largo de una segunda trayectoria 2 que define una segunda guía, y el segundo varillaje de soporte SL2 está dispuesto para transferir un segundo movimiento a la plataforma de soporte 17. La PKM también comprende un tercer varillaje de soporte SL3 que comprende uno, dos o más enlaces de soporte 12, 13; 11, 12, 13, cada uno conectado por un extremo a la plataforma de soporte 17 a través de una articulación de plataforma de soporte 11a, 12a, 13a, y en el otro extremo conectado a un tercer carro 6 a través de una articulación de carro 11b, 12b, 13b, en donde el tercer carro 5 se puede mover a lo largo de una tercera trayectoria 3 que define una tercera guía, y el tercer varillaje de soporte SL3 está dispuesto para transferir un tercer movimiento a la plataforma de soporte 17. El primer varillaje de soporte SL1, el segundo varillaje de soporte (SL2) y el tercer varillaje de soporte (SL3) comprenden juntos al menos cinco enlaces de soporte (8, 9, 10, 11, 12, 13). El primer movimiento, el segundo movimiento y el tercer movimiento posicionan la plataforma de soporte 17 en un sistema de coordenadas de base Xb, Yb, Zb. La primera guía, la segunda guía y la tercera guía están montadas en el mismo plano, por ejemplo, en un techo o en una pared. La primera guía, la segunda guía y la tercera guía pueden montarse o disponerse como se describe de acuerdo con cualquiera de las realizaciones en el presente documento, especialmente como se describe en relación con las figuras 19-23.

La presente invención no se limita a las realizaciones preferidas descritas anteriormente. Diversas alternativas, modificaciones y equivalentes pueden usarse. Por lo tanto, las realizaciones anteriores no deben tomarse como limitantes del alcance de la invención, que se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar la colocación de articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a) en una plataforma de soporte (17) de un manipulador cinemático paralelo, PKM, comprendiendo la PKM:

- 5 la plataforma de soporte (17);
 un primer varillaje de soporte (SL1) que comprende dos o más enlaces de soporte (8, 9), cada uno configurado para conectarse en un extremo a la plataforma de soporte (17) a través de una articulación de plataforma de soporte (8a, 9a), y por el otro extremo configurado para conectarse a un primer carro (4) a través de una articulación de carro (8b, 9b), en donde el primer carro (4) se puede mover a lo largo de una primera trayectoria (1), y el primer varillaje de soporte (SL1) está dispuesto para transferir un primer movimiento a la plataforma de soporte (17);
 10 un segundo varillaje de soporte (SL2) que comprende uno o más enlaces de soporte (10, 11; 10), cada uno configurado para conectarse en un extremo a la plataforma de soporte (17) a través de una articulación de plataforma de soporte (10a, 11a), y en el otro extremo configurado para conectarse a un segundo carro (5) a través de una articulación de carro (10b, 11b), en donde el segundo carro (5) se puede mover a lo largo de una segunda trayectoria (2), y el segundo varillaje de soporte (SL2) está dispuesto para transferir un segundo movimiento a la plataforma de soporte (17);
 15 un tercer varillaje de soporte (SL3) que comprende dos o más enlaces de soporte (12, 13; 11, 12, 13), cada uno configurado para conectarse en un extremo a la plataforma de soporte (17) a través de una articulación de plataforma de soporte (11a, 12a, 13a), y por el otro extremo configurado para conectarse a un tercer carro (6) a través de una articulación de carro (11b, 12b, 13b), en donde el tercer carro (5) se puede mover a lo largo de una tercera trayectoria (3), y el tercer varillaje de soporte (SL3) está dispuesto para transferir un tercer movimiento a la plataforma de soporte (17); y en donde el primer varillaje de soporte (SL1), el segundo varillaje de soporte (SL2) y el tercer varillaje de soporte (SL3) comprenden juntos al menos cinco enlaces de soporte (8, 9, 10, 11, 12, 13); en donde el método comprende:
 20 - obtener (S0a) un modelo cinemático y un modelo elástico de la PKM;
 - definir (S0b) fuerzas y/o pares aplicados a una herramienta (20) unida a la plataforma de soporte (17) durante una secuencia de procesamiento con la herramienta (20);
 - obtener (S0c) una configuración de colocación actual que incluye colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a) en relación con la plataforma de soporte (17);
 30 - estimar (S1) parámetros indicativos de rigidez para la PKM, basándose en los modelos cinemáticos y elásticos de la PKM y las fuerzas y/o pares definidos elegidos aplicados a la herramienta (22) durante la secuencia de procesamiento, cuando las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a) están ubicadas en lugares definidos por la configuración de colocación actual sobre la plataforma de soporte (17);
 35 - comprobar (S2) si los parámetros estimados indicativos de rigidez de la PKM cumplen uno o más criterios de rigidez de aplicación; y cuando los parámetros estimados indicativos de rigidez cumplen uno o más criterios de rigidez de aplicación, el método comprende adicionalmente:
 - elegir (S3) la configuración de colocación actual de las articulaciones de plataforma de soporte como una configuración de colocación óptima de las articulaciones de plataforma de soporte; y además
 40 - cambiar (S4) una colocación de una o más articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a) en la configuración de colocación actual y repetir la estimación (S1) y la comprobación (S2) con la configuración de colocación actual cambiada.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el uno o más criterios de rigidez de la PKM comprenden que un mínimo actual de los parámetros estimados indicativos de rigidez es igual o superior a un valor de rigidez predeterminado.

3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, que comprende
 50 - reemplazar (S2c) un valor de rigidez mínimo anterior con un mínimo actual de los parámetros estimados indicativos de rigidez, tras un mínimo actual de los parámetros estimados indicativos de que la rigidez es mayor que el valor de rigidez mínimo anterior.

4. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el uno o más criterios de rigidez comprenden que no se detecta colisión entre un modelo geométrico de los enlaces de soporte y un modelo geométrico de la plataforma de soporte (17), y que no se alcanza ningún límite de articulación basándose en las limitaciones obtenidas para las colocaciones de montaje de articulaciones.

5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la obtención (S0c) de una configuración de colocación actual que incluye colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a) comprende definir las colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a).

6. El método de acuerdo con la reivindicación 5, en donde las colocaciones iniciales de las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a) están limitadas por una forma volumétrica primitiva.

7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el modelo cinemático

comprende limitaciones del intervalo de trabajo de las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a).

5 8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la estimación (S1) comprende estimar las fuerzas de enlace con el requisito de que la suma de todas las fuerzas que actúan sobre la plataforma de soporte sea cero, y la suma de todos los pares que actúan sobre la plataforma de soporte sea cero.

10 9. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la definición (S0b) comprende simulación o ejecución de programa real durante la cual se estiman fuerzas y/o pares en la herramienta (22).

15 10. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo la PKM también una base de herramienta (140) que comprende una articulación de árbol (121), un árbol (122) y una plataforma de herramienta (123), en donde el árbol (122) está conectado a la plataforma de soporte (17) a través de la articulación de árbol (121), y el árbol (122) también está conectado a la plataforma de herramienta (123); y uno o más varillajes de herramienta (TL1, TL2,) comprendiendo cada uno un enlace de herramienta (126, 127) conectado en un extremo a través de una articulación de base de herramienta (129; 131) a la base de herramienta (140), y en el otro extremo conectado a través de una articulación de carro (128; 130) a un carro dispuesto para moverse a lo largo de una trayectoria; y en donde cada varillaje de herramienta (TL1, TL2) está configurado para girar el árbol (122) alrededor de al menos un eje en relación con la plataforma de soporte (17), transfiriendo un movimiento del respectivo varillaje de herramienta (TL1, TL2) al árbol (122), en donde el método comprende:

20 - determinar (S5) la colocación de una o más articulaciones de base de herramienta (129; 131) a la base de herramienta (140).

25 11. Un sistema que comprende:

un ordenador que comprende un procesador y una memoria, en donde la memoria comprende instrucciones informáticas configuradas para realizar el método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, cuando las instrucciones informáticas son ejecutadas por el procesador y configuradas para emitir una configuración de colocación óptima, y

una máquina cinemática paralela, PKM, que comprende

30 una plataforma de soporte (17);

un primer varillaje de soporte (SL1) que comprende dos o más enlaces de soporte (8, 9), cada uno conectado en un extremo a la plataforma de soporte (17) a través de una articulación de plataforma de soporte (8a, 9a), y por el otro extremo conectado a un primer carro (4) a través de una articulación de carro (8b, 9b), en donde el primer carro (4) se puede mover a lo largo de una primera trayectoria (1), y el primer varillaje de soporte (SL1) está dispuesto para transferir un primer movimiento a la plataforma de soporte (17);

35 un segundo varillaje de soporte (SL2) que comprende uno o más enlaces de soporte (10, 11; 10) conectado cada uno por un extremo a la plataforma de soporte (17) a través de una articulación de plataforma de soporte (10a, 11a), y en el otro extremo conectado a un segundo carro (5) a través de una articulación de carro (10b, 11b), en donde el segundo carro (5) se puede mover a lo largo de una segunda trayectoria (2), y el segundo varillaje de soporte (SL2) está dispuesto para transferir un segundo movimiento a la plataforma de soporte (17);

40 un tercer varillaje de soporte (SL3) que comprende dos o más enlaces de soporte (12, 13; 11, 12, 13), cada uno conectado por un extremo a la plataforma de soporte (17) a través de una articulación de plataforma de soporte (11a, 12a, 13a), y en el otro extremo conectado a un tercer carro (6) a través de una articulación de carro (11b, 12b, 13b), en donde el tercer carro (6) se puede mover a lo largo de una tercera trayectoria (3), y el tercer varillaje de soporte (SL3) está dispuesto para transferir un tercer movimiento a la plataforma de soporte (17);

en donde

45 - el primer varillaje de soporte SL1, el segundo varillaje de soporte (SL2) y el tercer varillaje de soporte (SL3) comprenden juntos al menos cinco enlaces de soporte (8, 9, 10, 11, 12, 13);

en donde

50 - las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a) se colocan en la plataforma de soporte (17) de acuerdo con la configuración de colocación óptima emitida por el ordenador.

55 12. Una máquina cinemática paralela, PKM, que comprende

una plataforma de soporte (17);

un primer varillaje de soporte (SL1) que comprende dos o más enlaces de soporte (8, 9), cada uno conectado en un extremo a la plataforma de soporte (17) a través de una articulación de plataforma de soporte (8a, 9a), y por el otro extremo conectado a un primer carro (4) a través de una articulación de carro (8b, 9b), en donde el primer carro (4) se puede mover a lo largo de una primera trayectoria (1), y el primer varillaje de soporte (SL1) está dispuesto para transferir un primer movimiento a la plataforma de soporte (17);

60 un segundo varillaje de soporte (SL2) que comprende uno o más enlaces de soporte (10, 11; 10) conectado cada uno por un extremo a la plataforma de soporte (17) a través de una articulación de plataforma de soporte (10a, 11a), y en el otro extremo conectado a un segundo carro (5) a través de una articulación de carro (10b, 11b), en donde el segundo carro (5) se puede mover a lo largo de una segunda trayectoria (2), y el segundo varillaje de soporte (SL2) está dispuesto para transferir un segundo movimiento a la plataforma de soporte (17);

65 un tercer varillaje de soporte (SL3) que comprende dos o más enlaces de soporte (12, 13; 11, 12, 13), cada uno

conectado por un extremo a la plataforma de soporte (17) a través de una articulación de plataforma de soporte (11a, 12a, 13a), y en el otro extremo conectado a un tercer carro (6) a través de una articulación de carro (11b, 12b, 13b), en donde el tercer carro (5) se puede mover a lo largo de una tercera trayectoria (3), y el tercer varillaje de soporte (SL3) está dispuesto para transferir un tercer movimiento a la plataforma de soporte (17);

5 en donde

- el primer varillaje de soporte SL1, el segundo varillaje de soporte (SL2) y el tercer varillaje de soporte (SL3) comprenden juntos al menos cinco enlaces de soporte (8, 9, 10, 11, 12, 13);

10 - el primer movimiento, el segundo movimiento y el tercer movimiento posicionan la plataforma de soporte (17) en un sistema de coordenadas de base (Xb, Yb, Zb), cuyo eje X (Xb) es paralelo a la dirección de al menos una de la primera trayectoria (1), la segunda trayectoria (2) y la tercera trayectoria (3), y el eje Z (Zb) está en una dirección de una normal de un plano definido por al menos dos de la primera trayectoria (1), la segunda trayectoria (2) y la tercera trayectoria (3),

caracterizada por que

15 - una primera (9a) de las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a) del primer varillaje de soporte (SL1) y una primera (12a) de las articulaciones de plataforma de soporte (12a, 13a) del tercer varillaje de soporte (SL3) se colocan en la plataforma de soporte (17) con una primera distancia (d1) entre sí, y una segunda (8a) de las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a) del primer varillaje de soporte (SL1) y una segunda (13a) de las articulaciones de plataforma de soporte (12a, 13a) del tercer varillaje de soporte (SL3) se colocan en la plataforma de soporte (17) con una segunda distancia (d2) entre sí, en donde la segunda distancia (d2) es diferente de la primera distancia (d1),

20 - se define un sistema de coordenadas de plataforma de soporte con ejes perpendiculares Xsp, Ysp, Zsp con un origen en un punto de conexión (23a) en una cara frontal (150) de la plataforma de soporte (17a), en donde el eje Zsp está en una dirección normal a la cara frontal (150), en donde

25 - la primera (9a) de las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a) del primer varillaje de soporte (SL1) se coloca en la plataforma de soporte (17) a una cuarta distancia (d4) en la dirección del eje Zsp desde el punto de conexión (23a) que es menor que una quinta distancia (d5) en la dirección del eje Zsp desde el punto de conexión (23a) a la segunda (8a) de las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a) del primer varillaje de soporte (SL1), y la primera (12a) de las articulaciones de plataforma de soporte (12a, 13a) del tercer varillaje de soporte (SL3) se coloca en la plataforma de soporte (17) a una sexta distancia (d6) en la dirección del eje Zsp desde el punto de conexión (23a), que es menor que una séptima distancia (d7) en la dirección del eje Zsp desde el punto de conexión (23a) a la segunda (13a) de las articulaciones de plataforma de soporte (12a, 13a) del tercer varillaje de soporte (12, 13), y en donde

30 - la segunda (8a) de las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a) del primer varillaje de soporte (SL1) se coloca en la plataforma de soporte (17) a una octava distancia (d8) en la dirección del eje Xsp desde la primera (9a) de las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a) del primer varillaje de soporte (SL1), y la segunda (13a) de las articulaciones de plataforma de soporte (12a, 13a) del tercer varillaje de soporte (SL3) se coloca en la plataforma de soporte (17) a una novena distancia (d9) en la dirección del eje Xsp desde la primera (12a) de las articulaciones de plataforma de soporte (12a, 13a) del tercer varillaje de soporte (SL3).

40 13. La máquina cinemática paralela de acuerdo con la reivindicación 12, en donde la segunda distancia (d2) es mayor que la primera distancia (d1) en la dirección del eje Ysp, y en donde el segundo varillaje de soporte (SL2) comprende dos enlaces de soporte (10, 11) y las articulaciones de plataforma de soporte (10a, 11a) del segundo varillaje de soporte (SL2) se colocan en la plataforma de soporte (17) con una tercera distancia (d3) entre sí, en donde la tercera distancia (d3) es mayor que la primera distancia (d1).

45 14. La máquina cinemática paralela de acuerdo con la reivindicación 12 o 13, en donde las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a) se colocan en relación con un cuerpo volumétrico primitivo de la plataforma de soporte (17).

50 15. La máquina cinemática paralela de acuerdo con la reivindicación 14, que comprende interfaces mecánicas (112, 114, 115, 116), y en donde las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a, 10a, 11a, 12a, 13a) se conectan al cuerpo volumétrico primitivo a través de las interfaces mecánicas.

55 16. La máquina cinemática paralela de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, que comprende una o más interfaces mecánicas, cada una conectada entre uno de los carros y la respectiva articulación de carro, y en donde la una o más interfaces mecánicas están diseñadas de tal manera que las articulaciones de plataforma de soporte y las articulaciones de carro están en el medio de sus respectivos intervalos de trabajo de orientación, cuando el cuerpo volumétrico primitivo está centrado en un plano definido por los ejes Yb y Zb en el intervalo de trabajo de la PKM.

60 17. La máquina cinemática paralela de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 16, que comprende una o más interfaces mecánicas (116), cada una dispuesta entre uno de los carros (4, 5, 6) y una respectiva articulación de carro (8b, 9b, 10b, 11b, 12b, 13b), en donde la una o más interfaces mecánicas (116) están diseñadas para mantener las características cinemáticas de la PKM en donde los enlaces de soporte (8, 9) del primer varillaje de soporte (SL1) son paralelos y tienen la misma longitud, los enlaces de soporte (12, 13) del tercer varillaje de soporte (SL3) son paralelos y tienen la misma longitud, y los enlaces de soporte (10, 11) del segundo varillaje de soporte (SL2) son paralelos y tienen la misma longitud.

65

18. La máquina cinemática paralela de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 17, que comprende un árbol (21) conectado a la plataforma de soporte (17) a través de una articulación de árbol (121) en el punto de conexión (23a).
- 5 19. La máquina cinemática paralela de acuerdo con la reivindicación 18, en donde la primera (9a) de las articulaciones de plataforma de soporte (8a, 9a) del primer varillaje de soporte (SL1), y la primera (12a) de las articulaciones de plataforma de soporte (12a, 13a) del tercer varillaje de soporte (SL3) se colocan con distancias de implementación mínimas a la articulación de árbol (121)

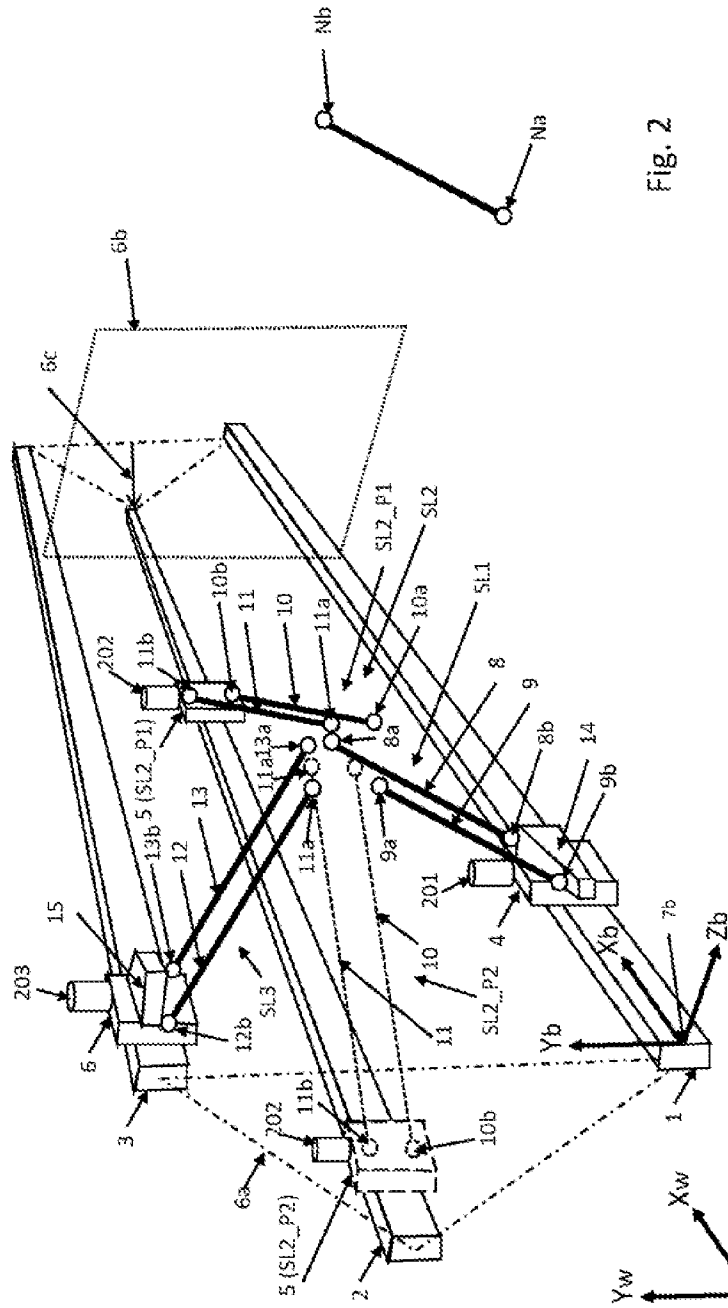


Fig. 2

Fig. 1

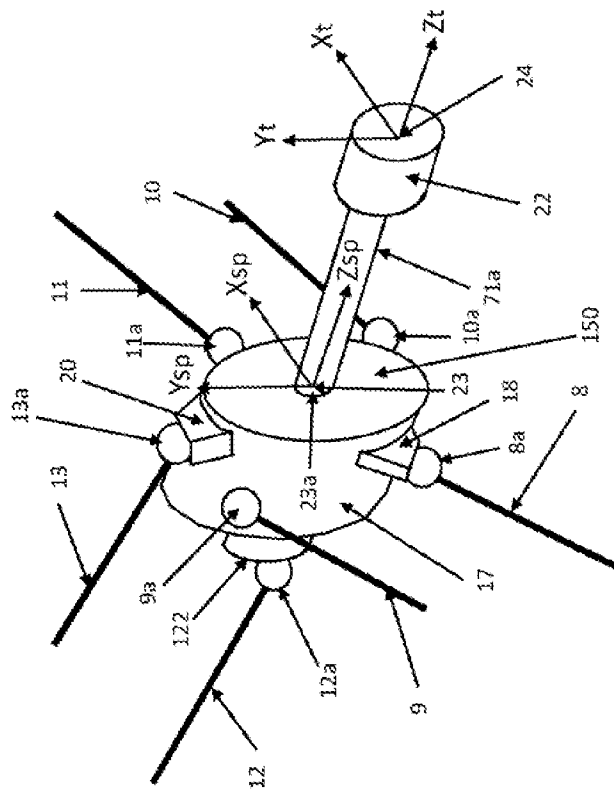


Fig. 3

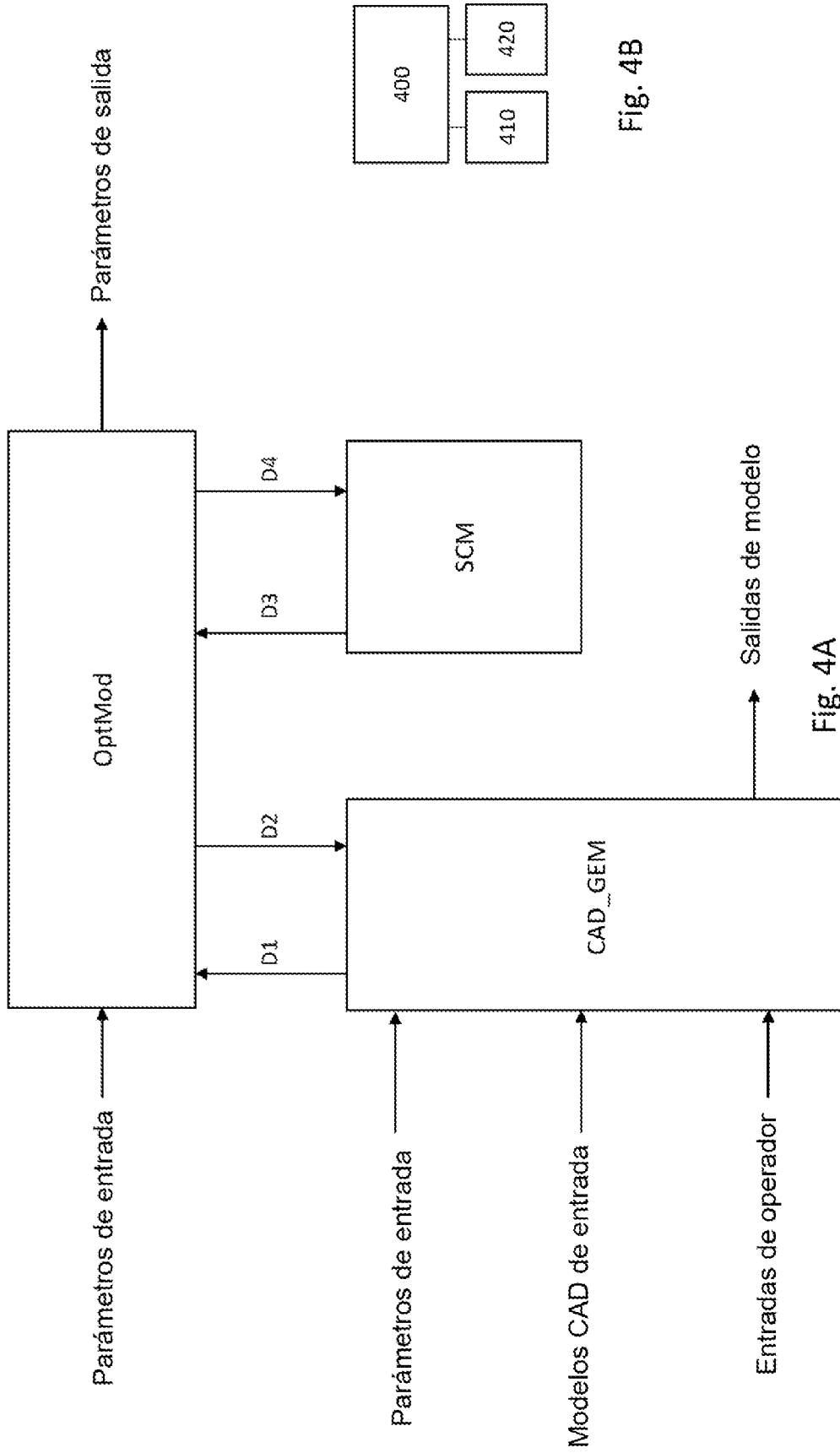


Fig. 4A

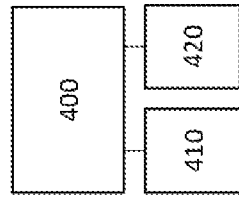


Fig. 4B

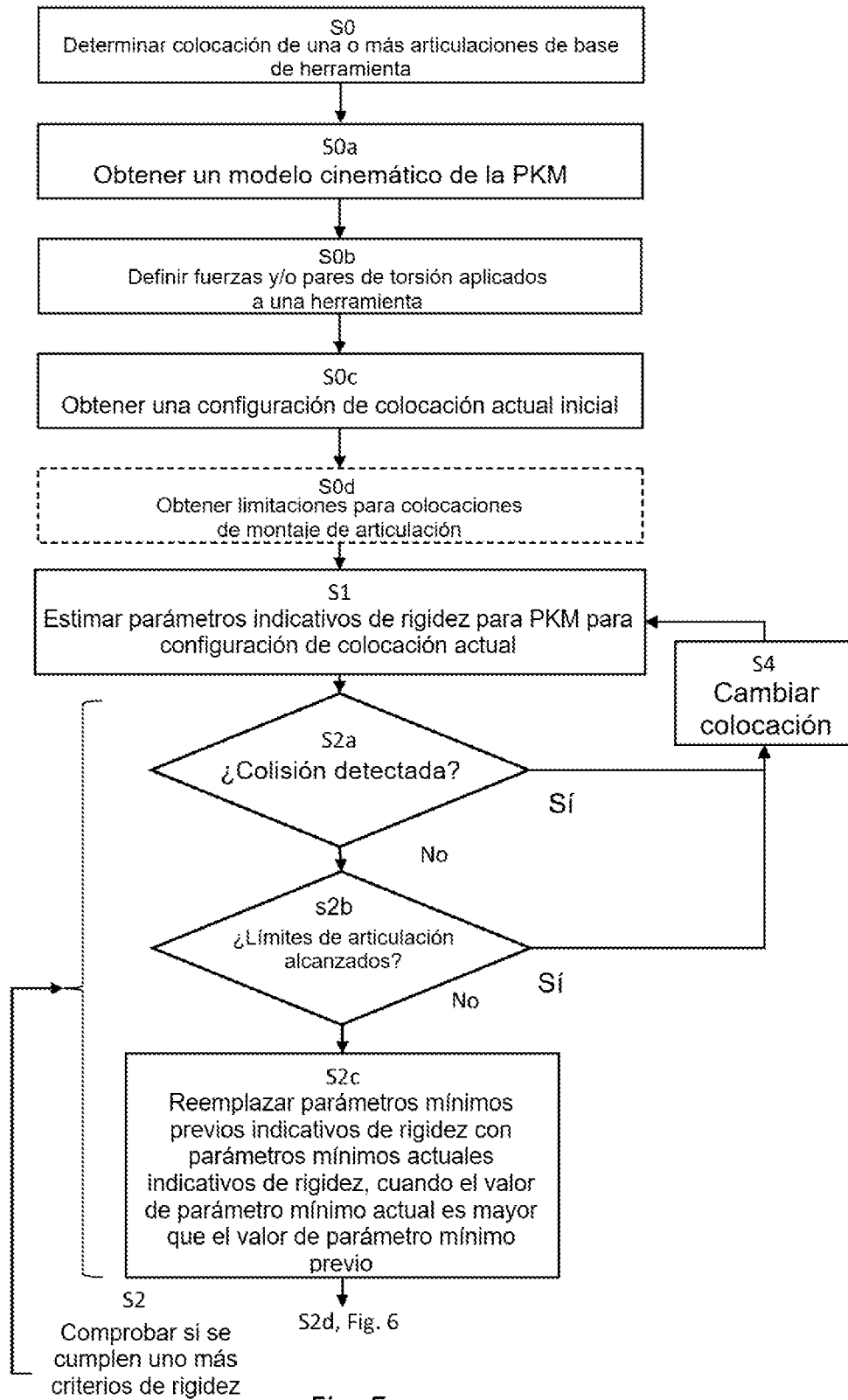


Fig. 5

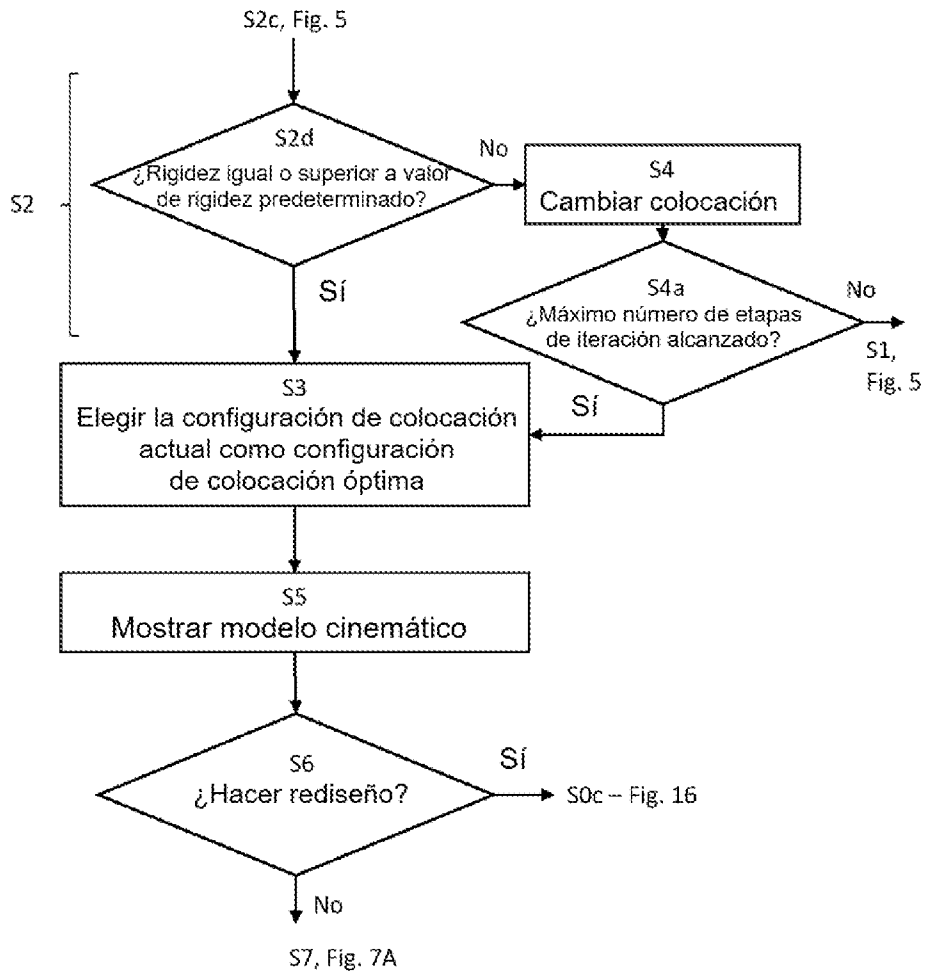


Fig. 6

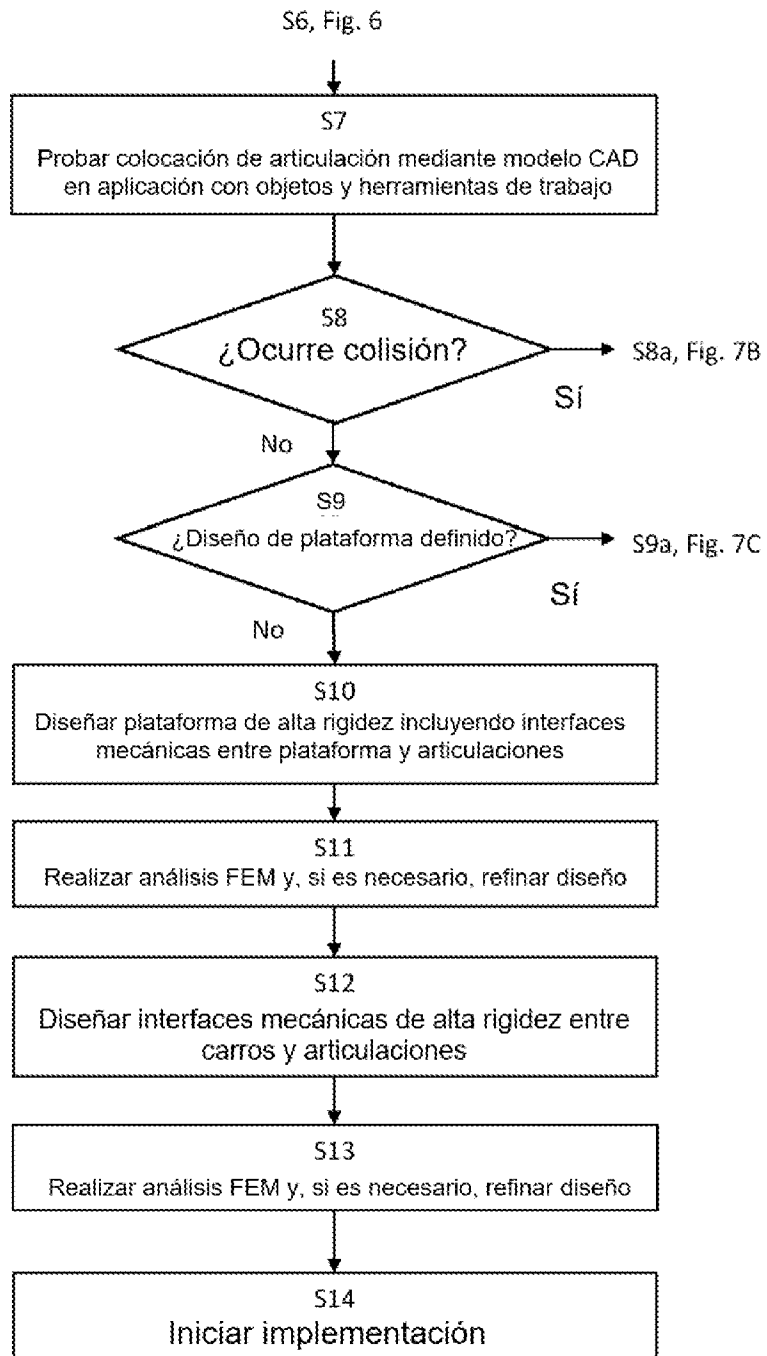


Fig. 7A

S8, Fig. 7A

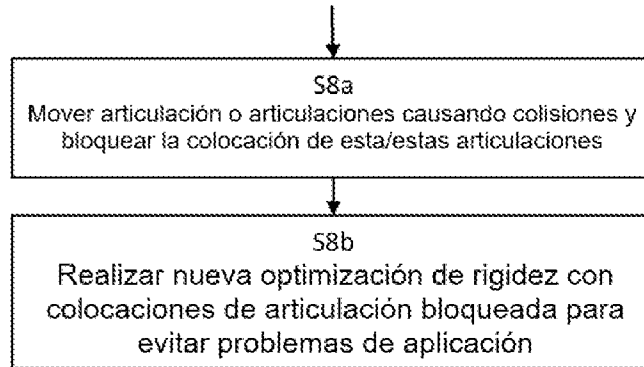
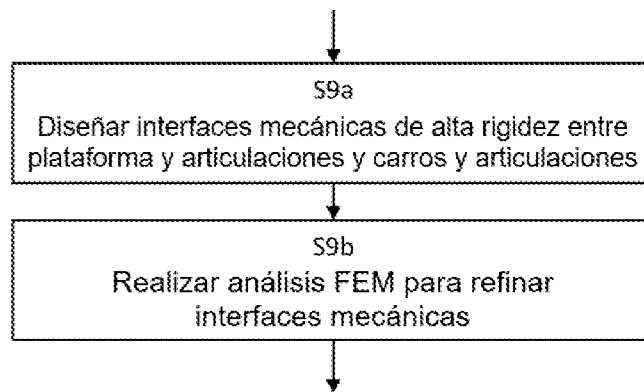


Fig. 7B

S9, Fig. 7C



S14, Fig. 7A

Fig. 7C

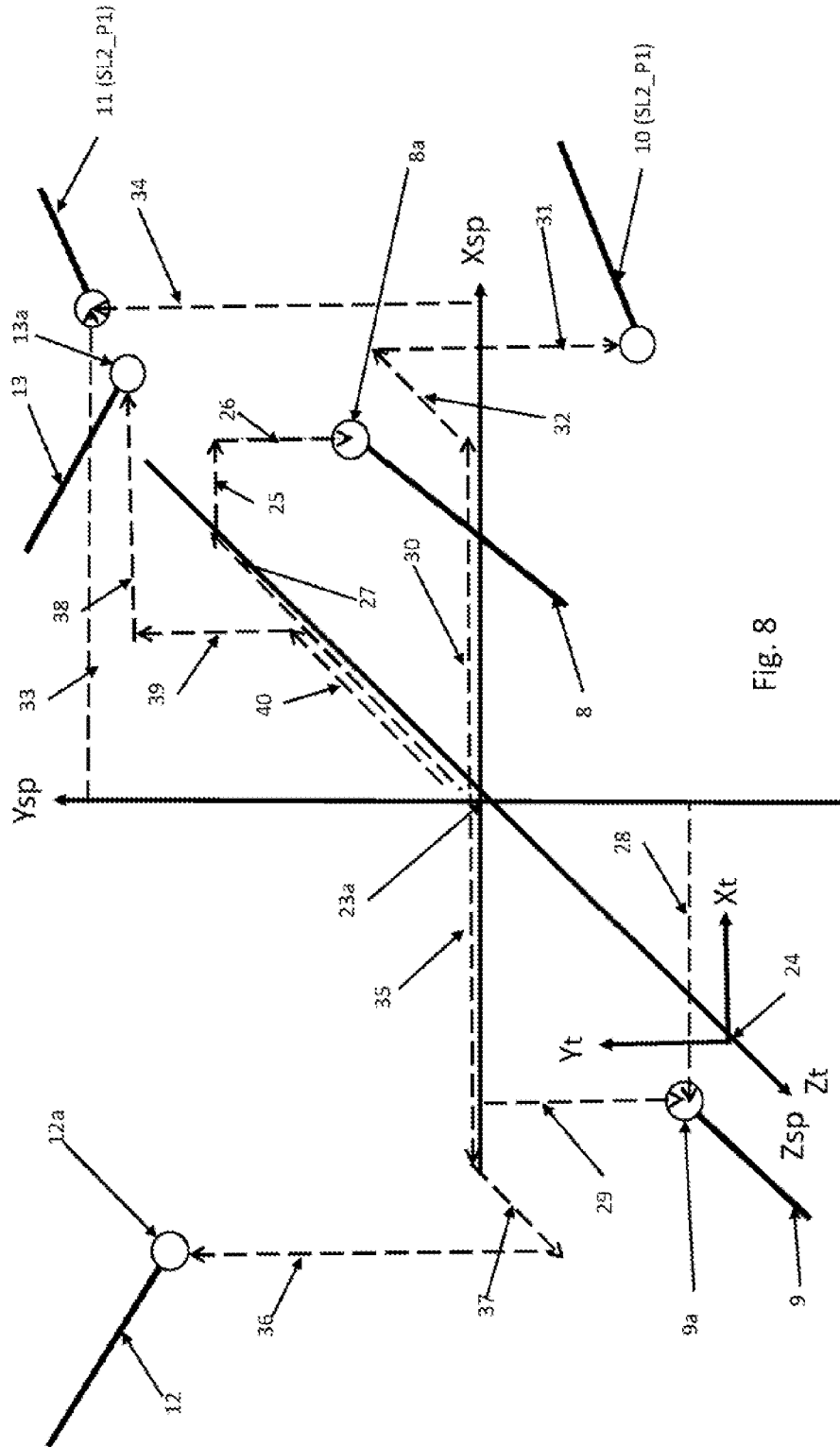


Fig. 8

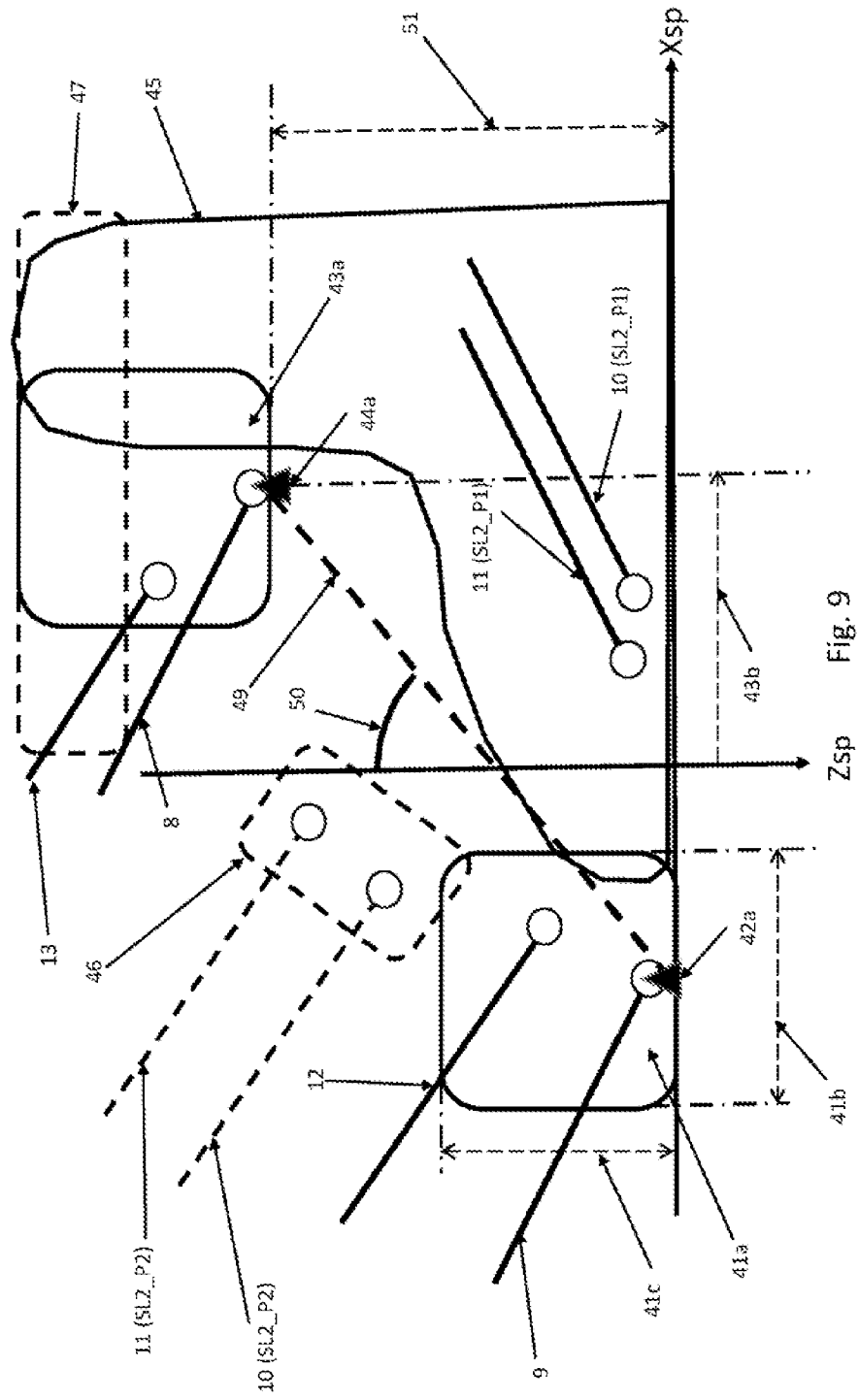


Fig. 9

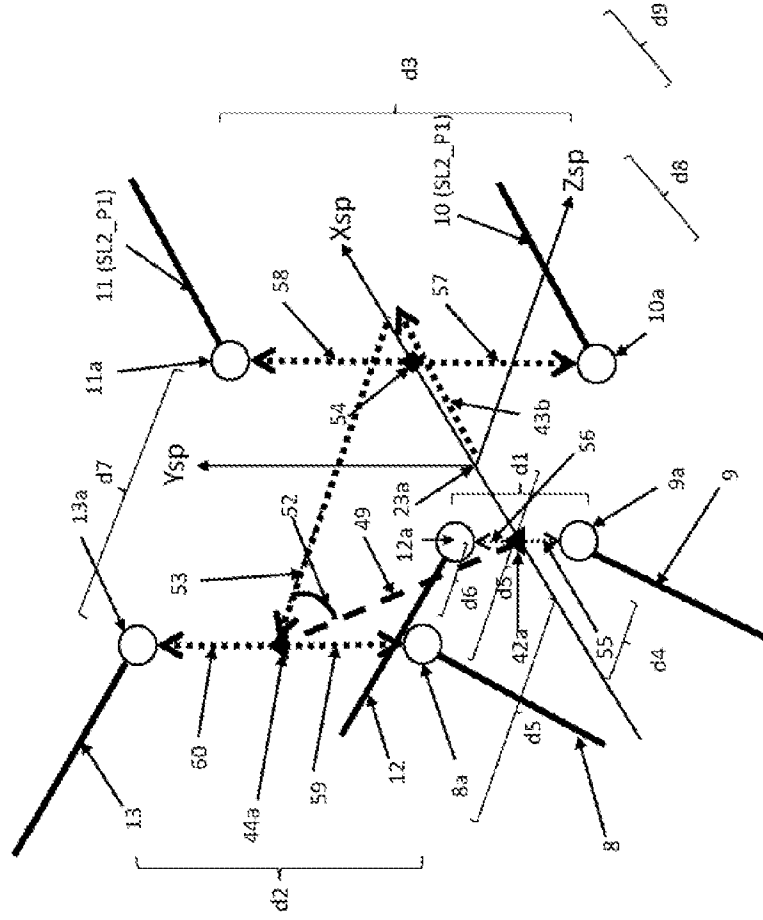


Fig. 10

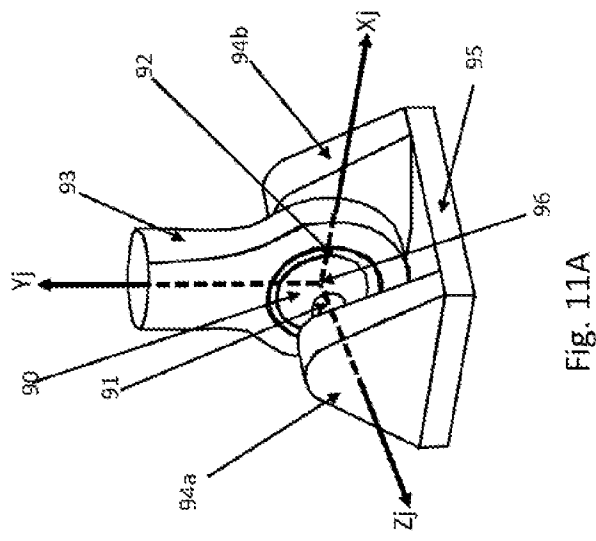


Fig. 11A

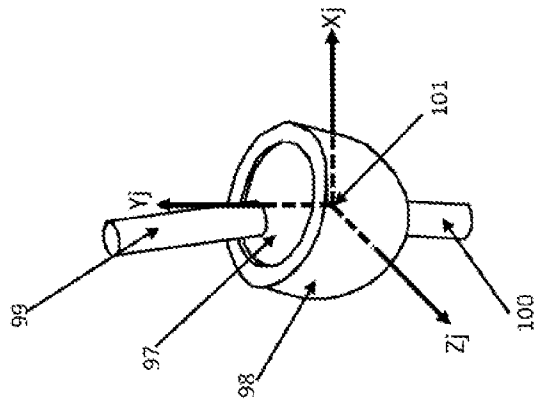


Fig. 11B

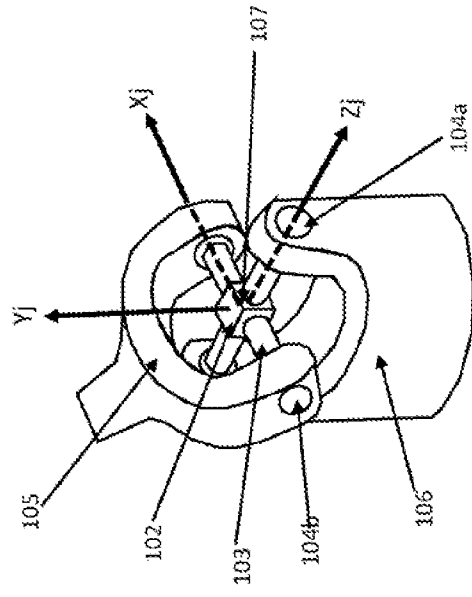


Fig. 11C

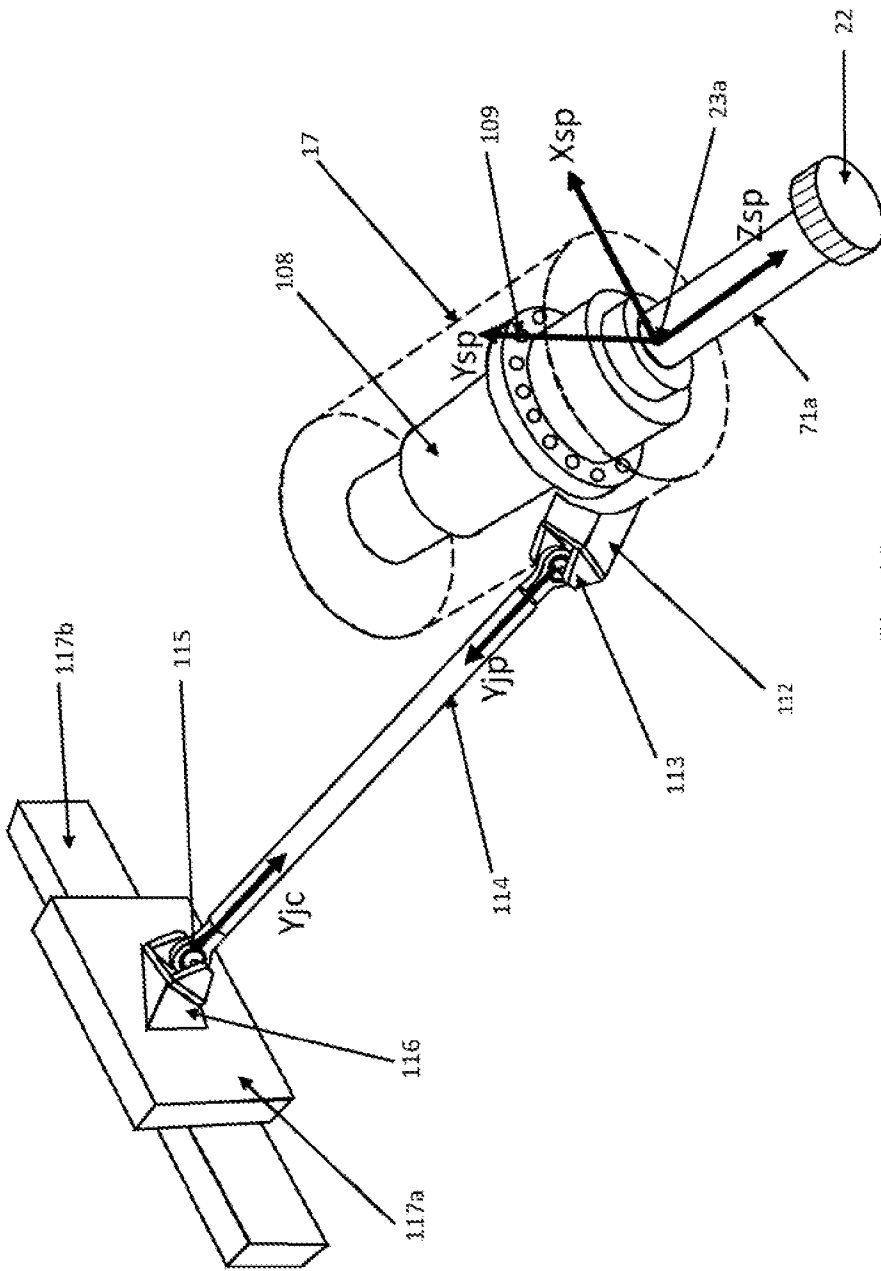


Fig. 12

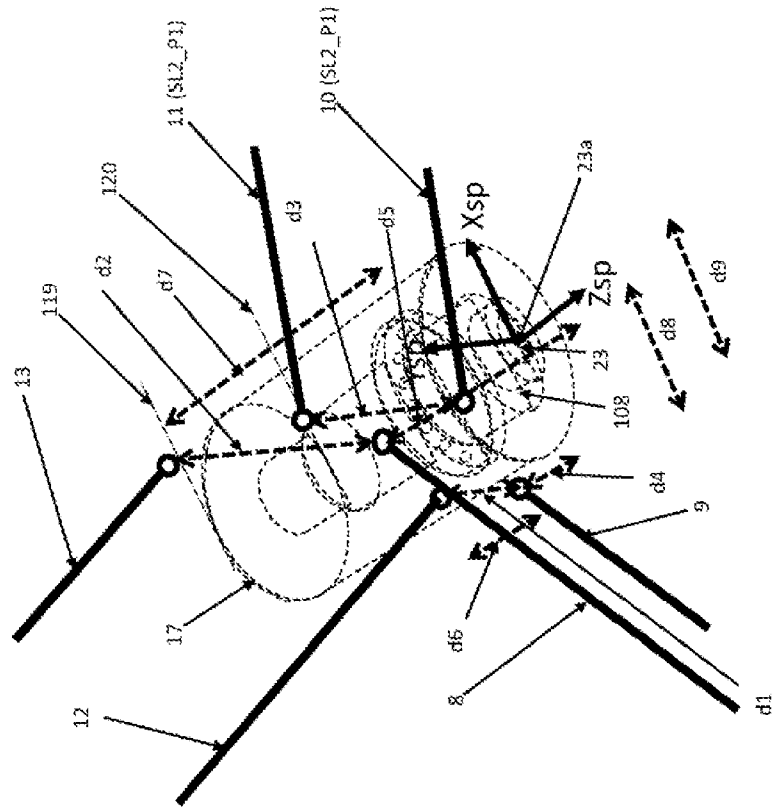


Fig. 13B

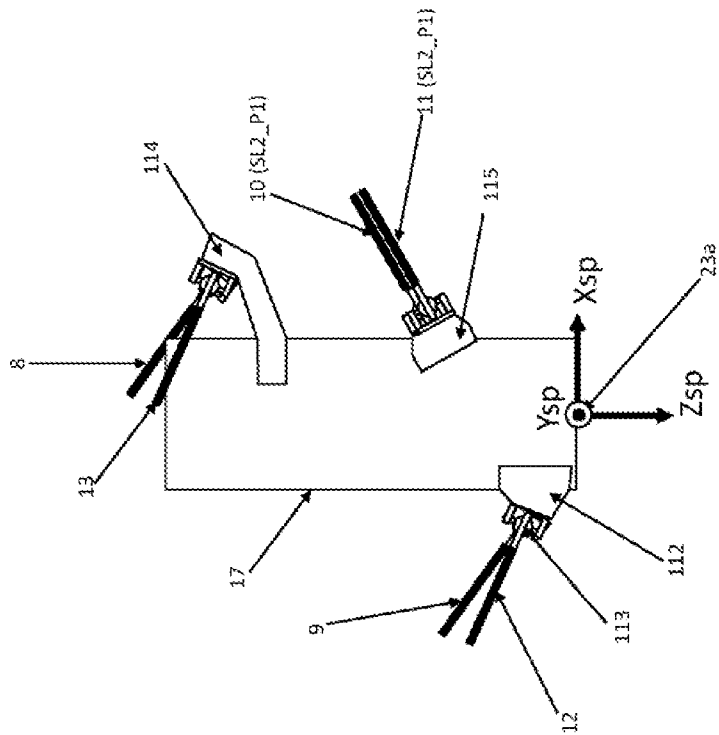


Fig. 13A

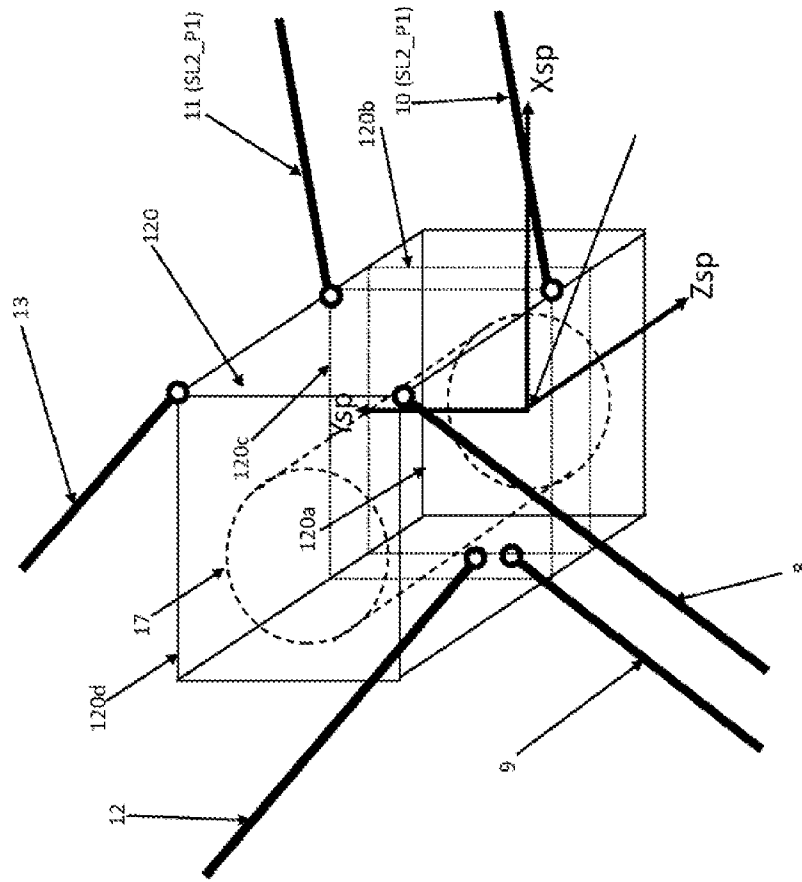


Fig. 13C

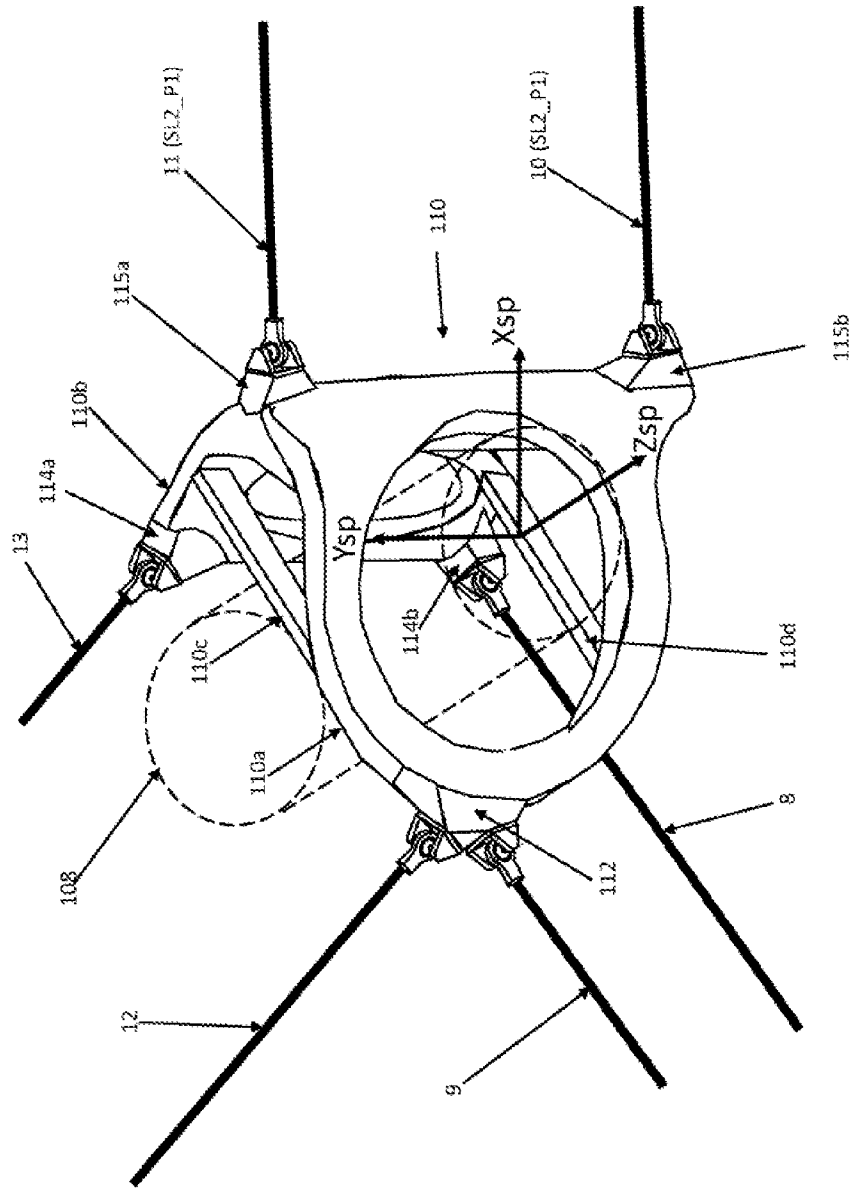


Fig. 13D

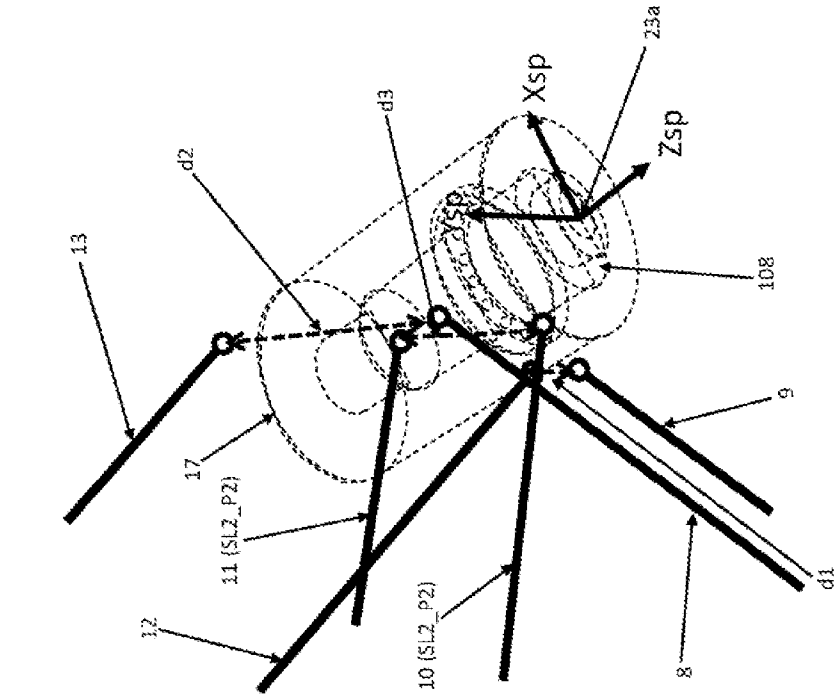


Fig. 14B

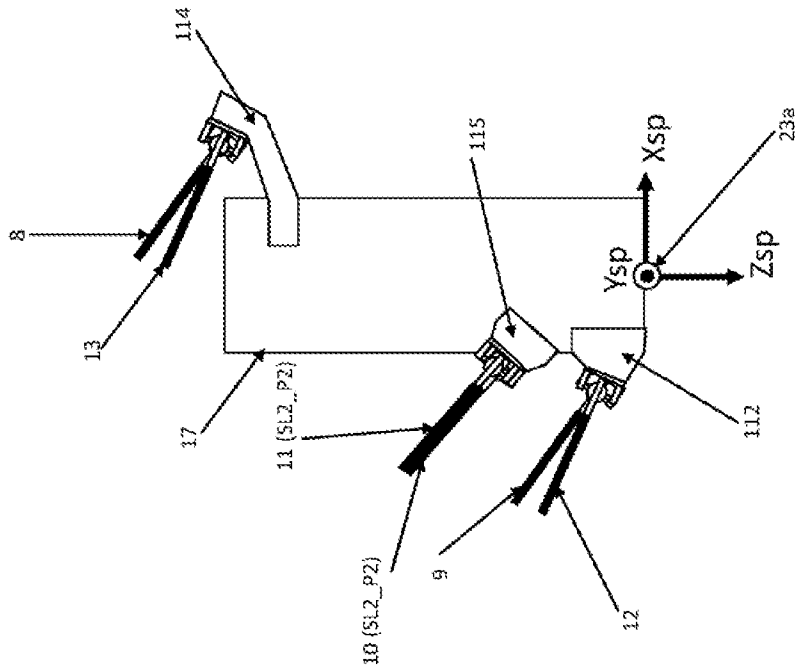


Fig. 14A

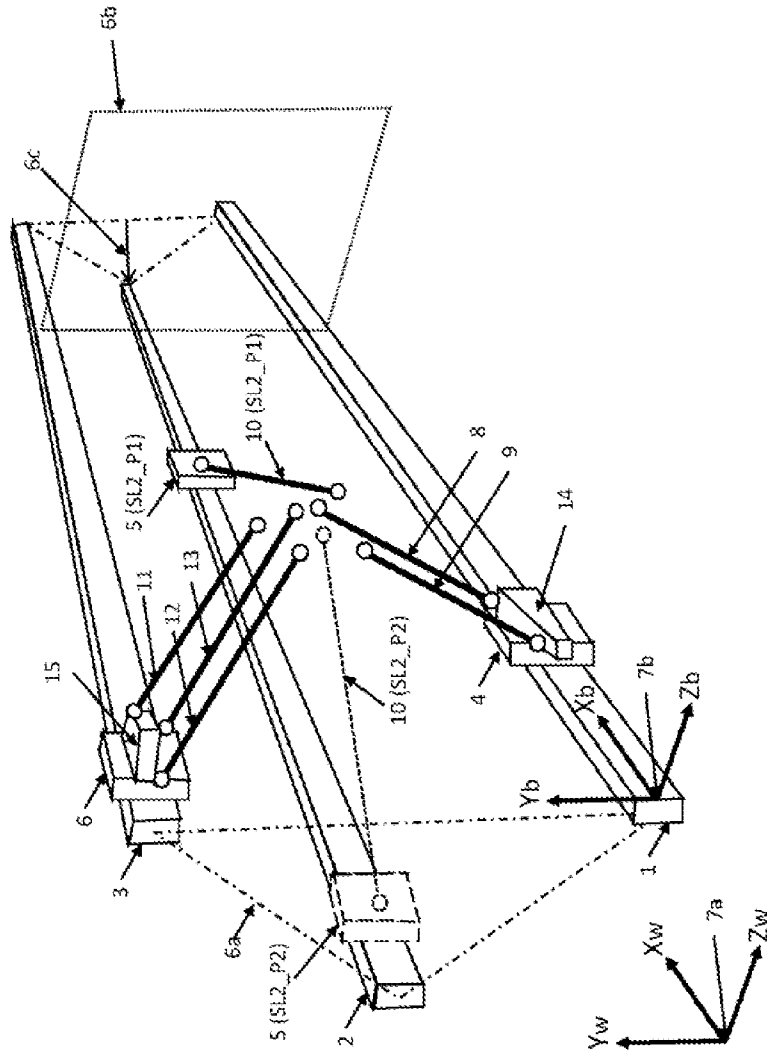
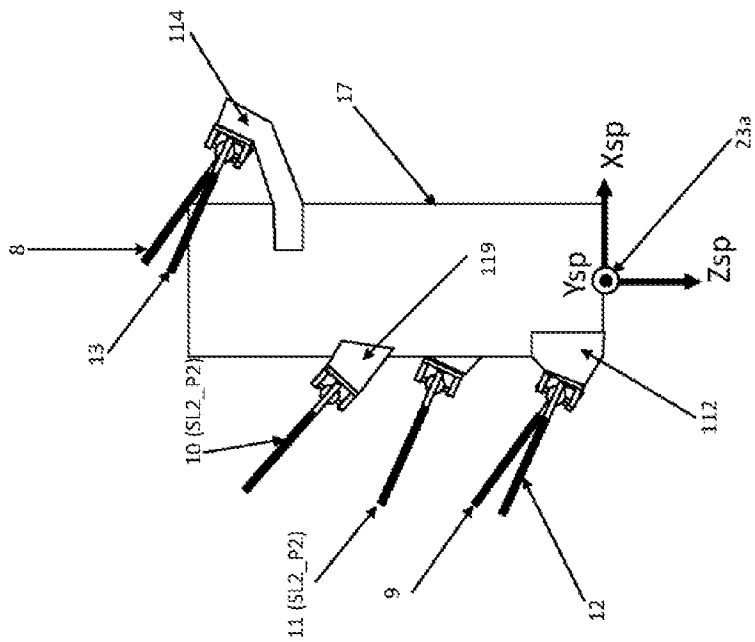
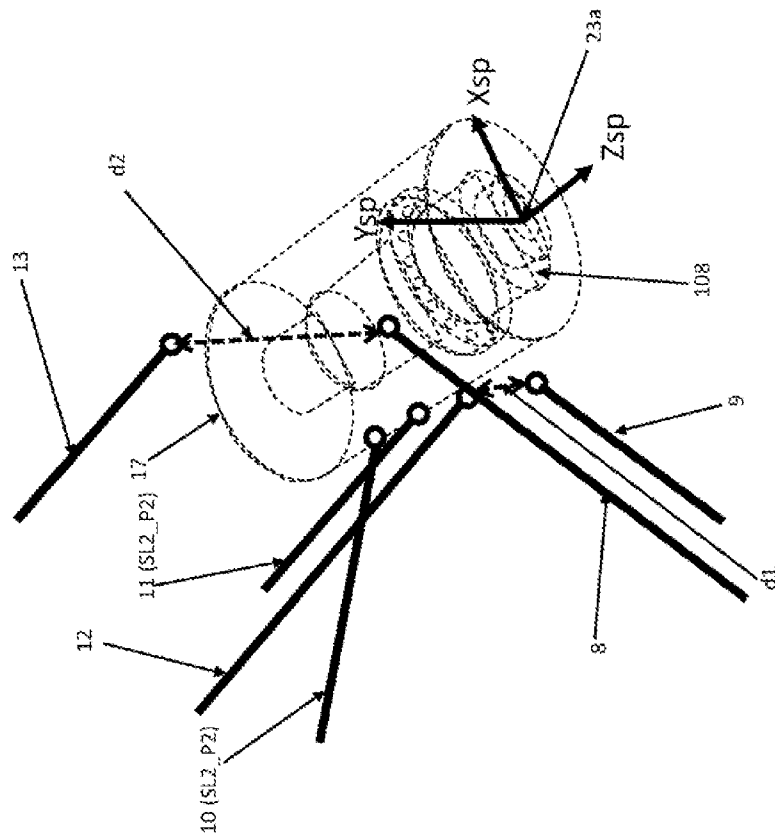


Fig. 15



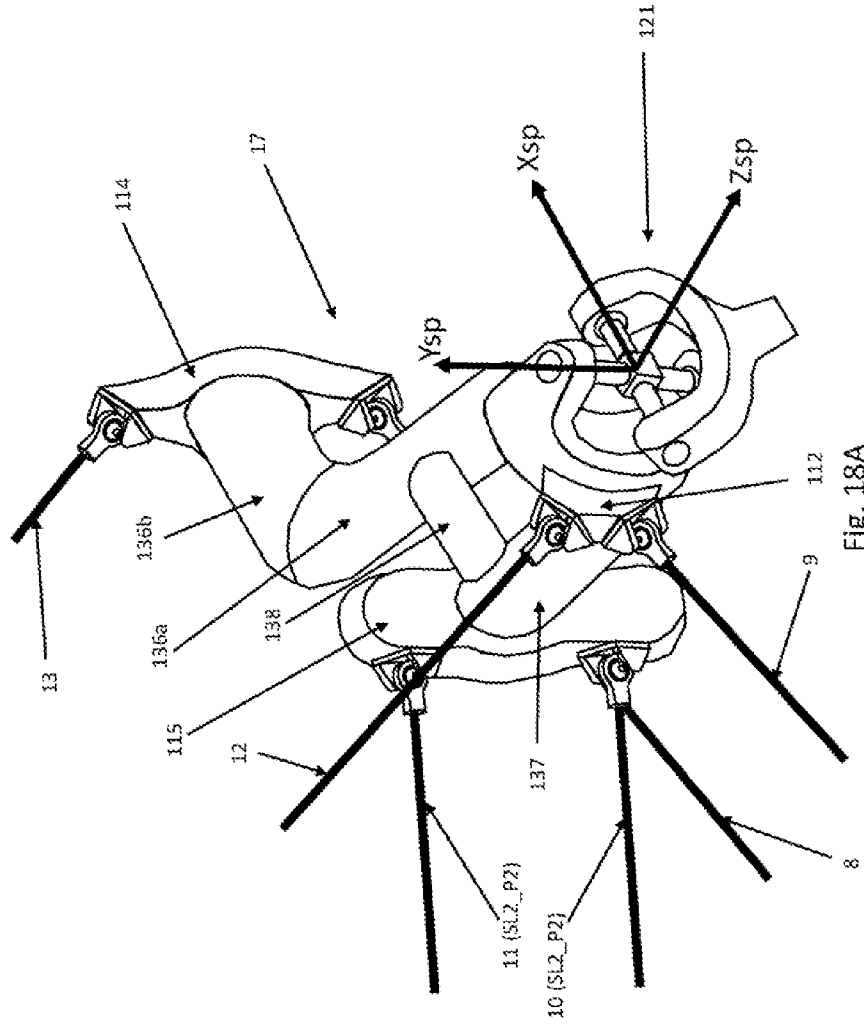


Fig. 18A

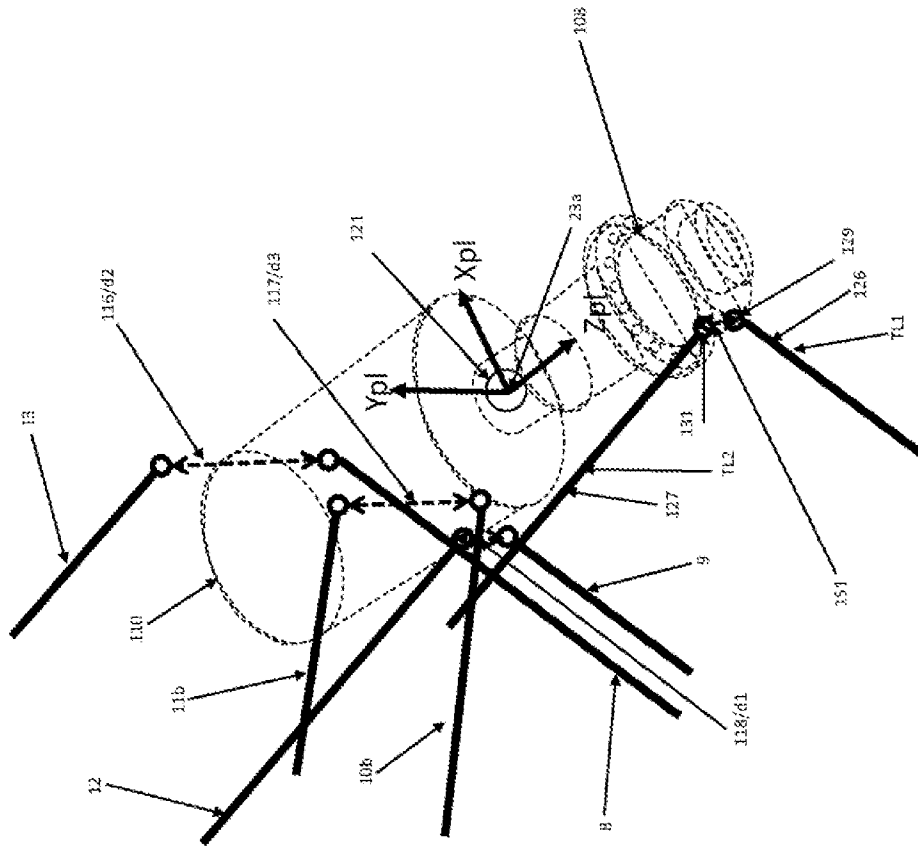


Fig. 18B

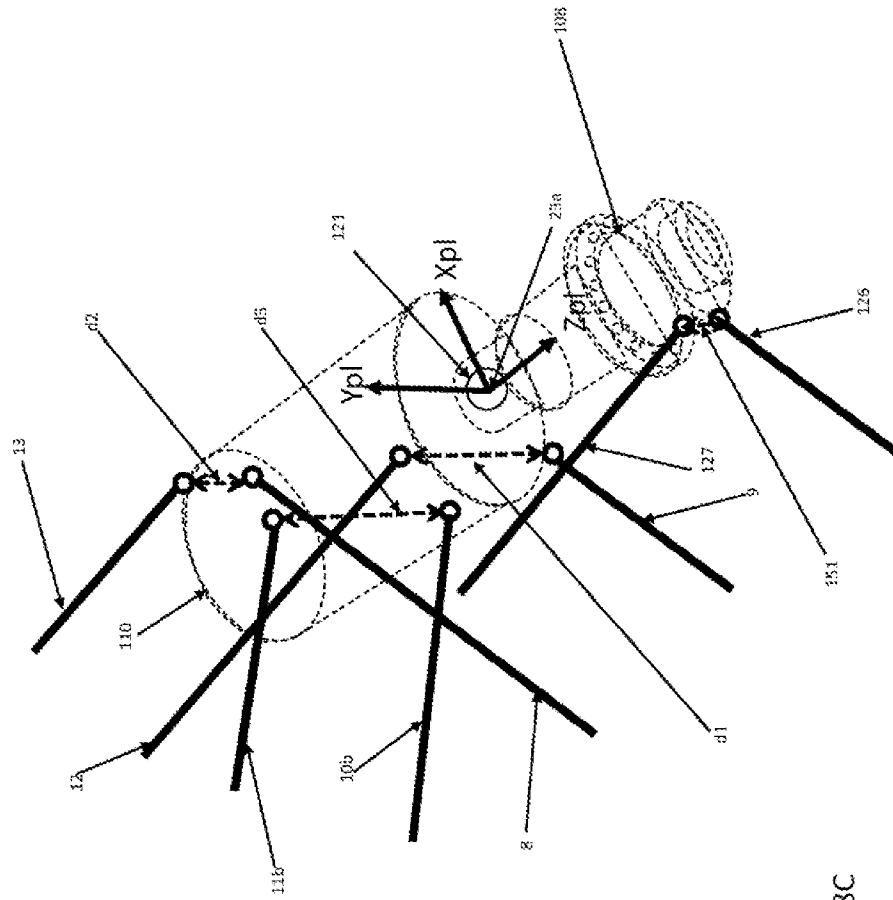
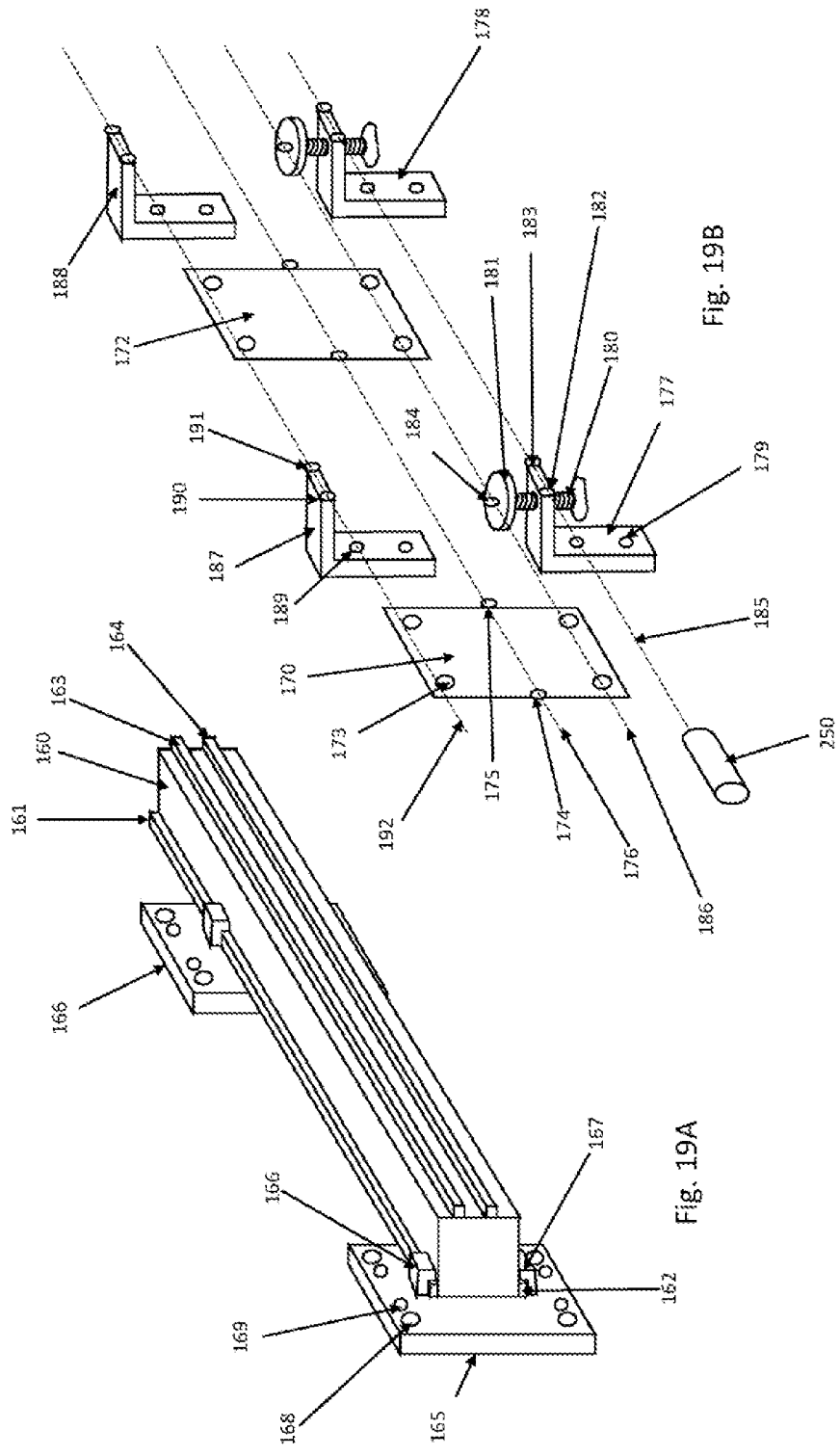


Fig. 18C



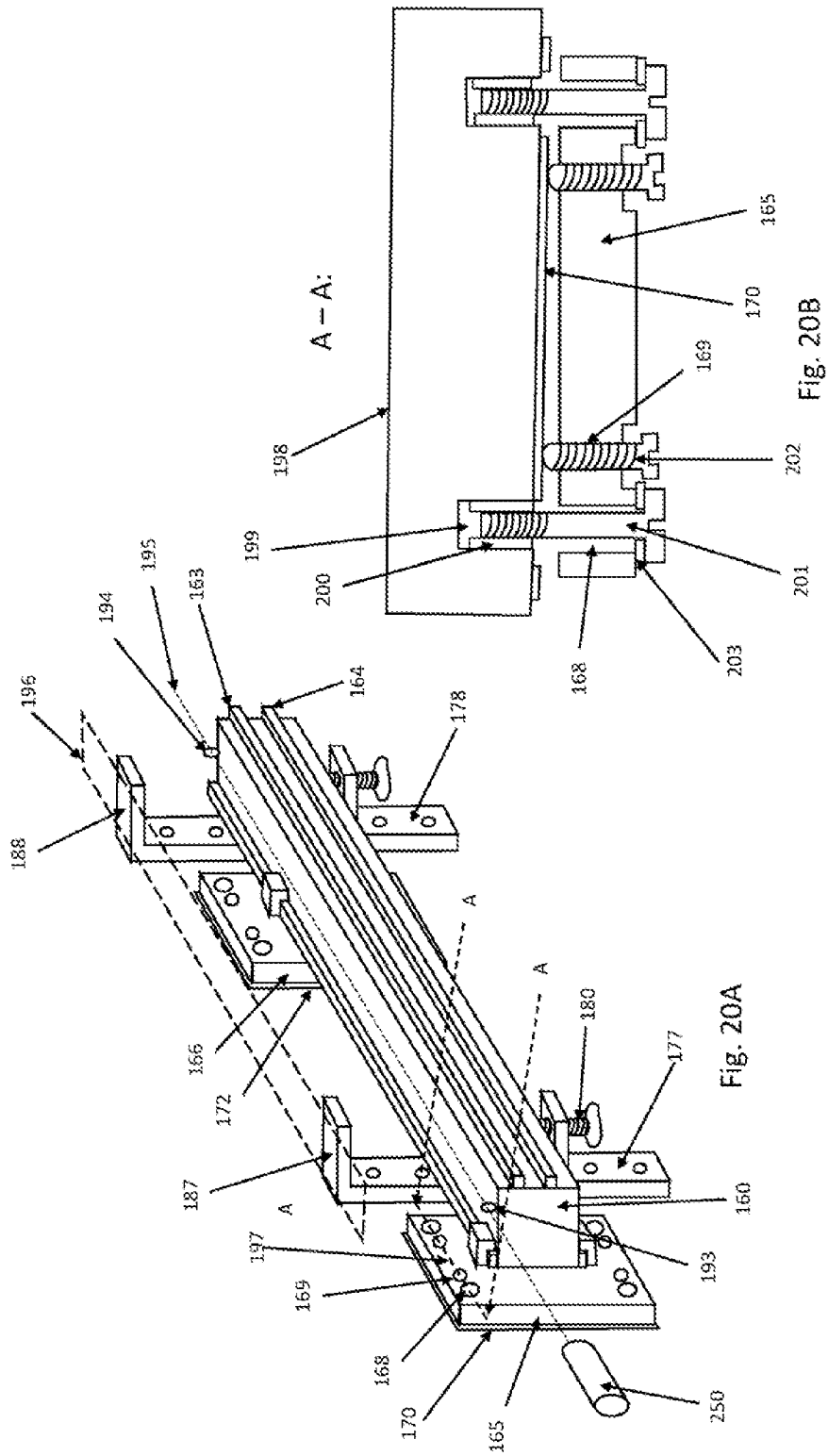


Fig. 20A

Fig. 20B

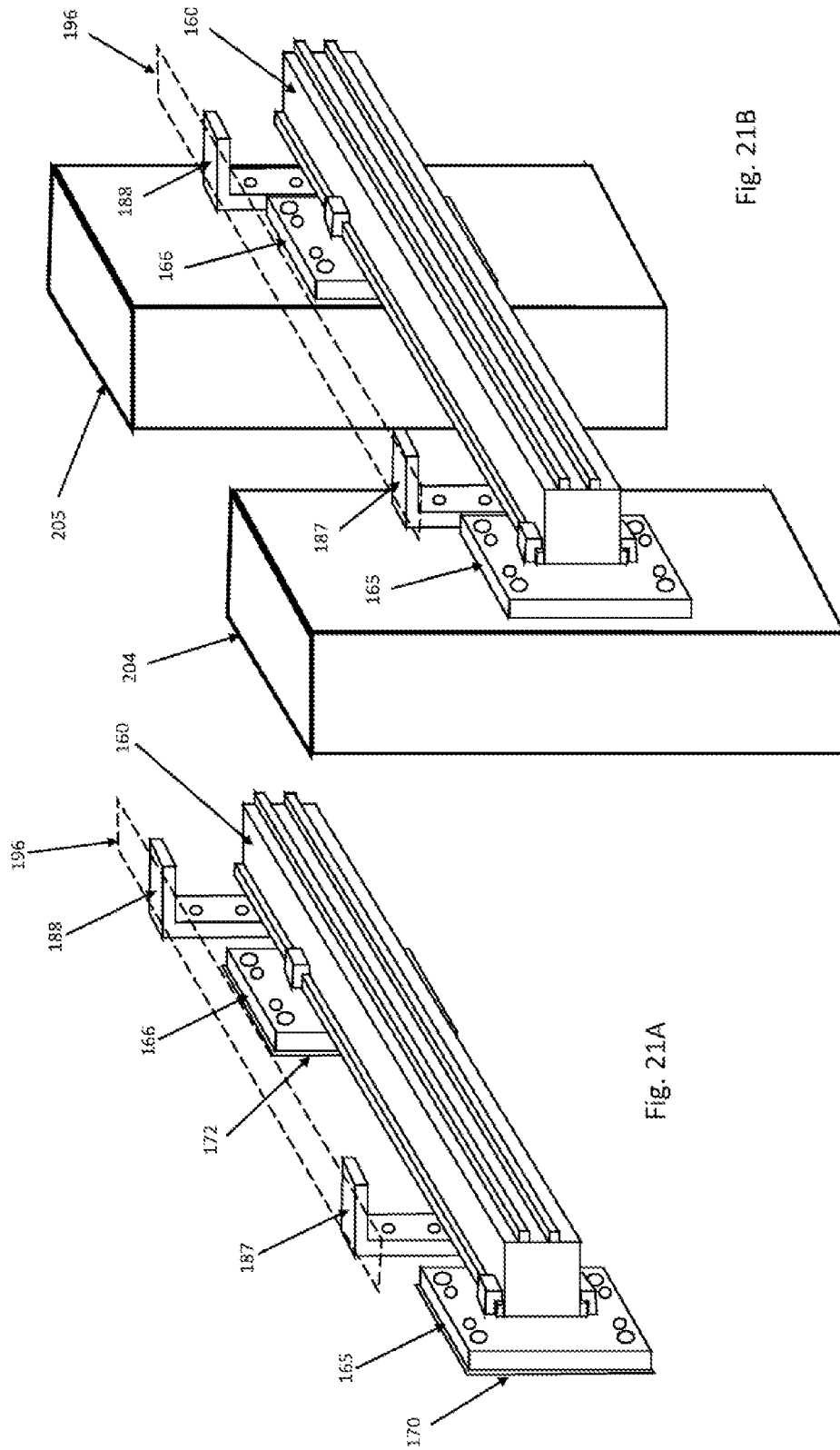


Fig. 21B

Fig. 21A

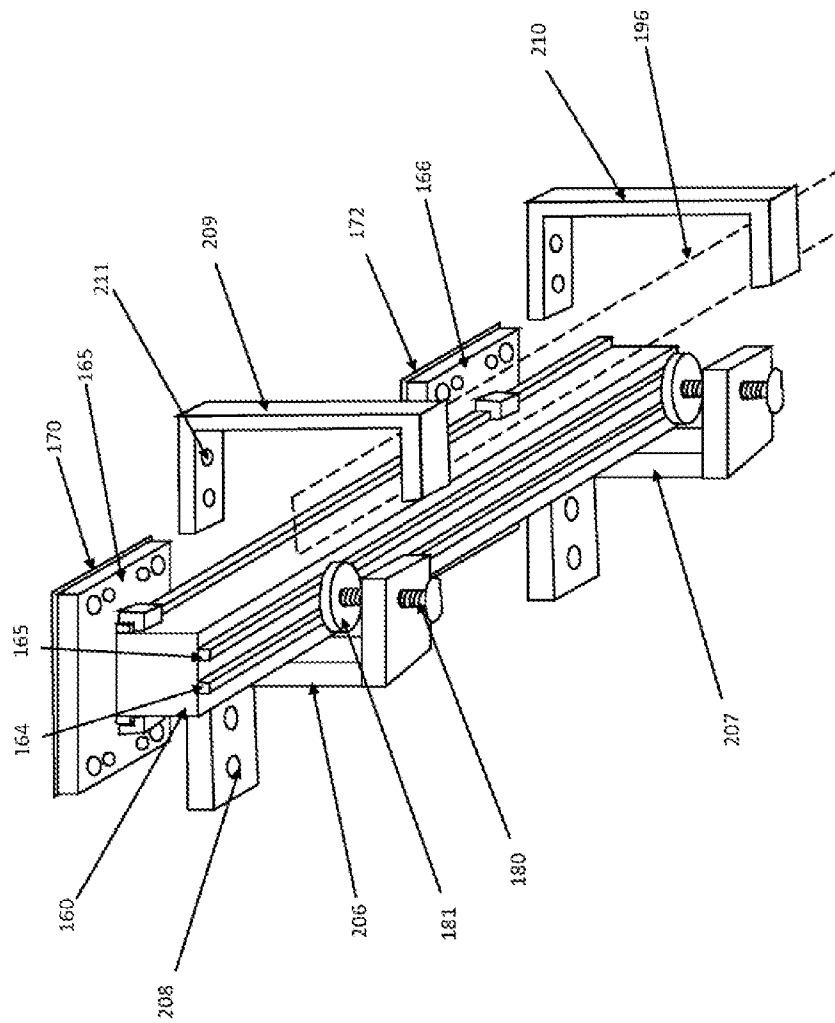


Fig. 22

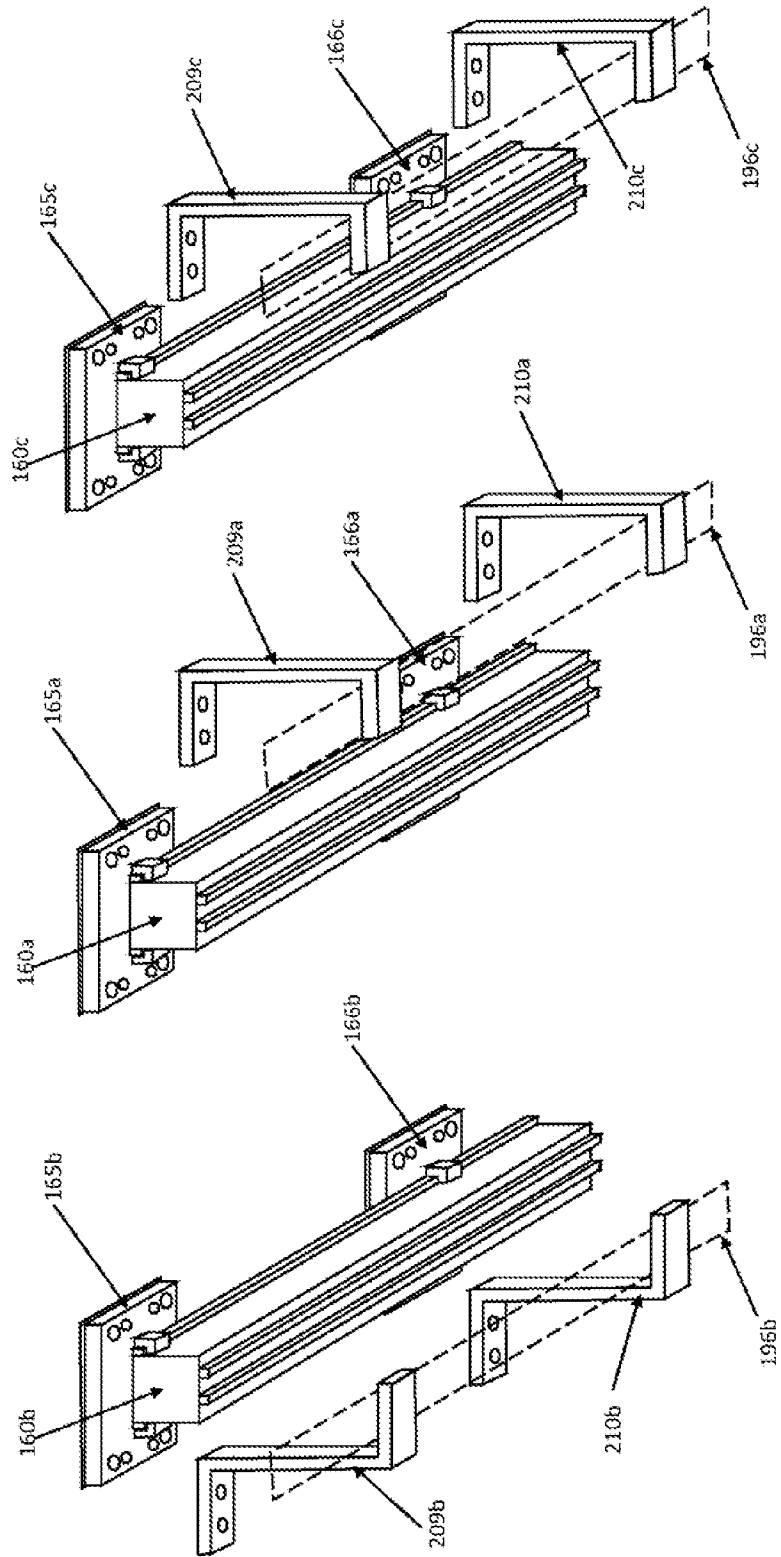


Fig. 23