

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 381 656**

51 Int. Cl.:
B25J 15/00 (2006.01)
A61F 2/54 (2006.01)
A61F 2/58 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **10159530 .4**
96 Fecha de presentación: **09.04.2010**
97 Número de publicación de la solicitud: **2239106**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **13.10.2010**

54 Título: **Mano robótica con dedos similares a los humanos**

30 Prioridad:
09.04.2009 US 421413

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.05.2012

73 Titular/es:
DISNEY ENTERPRISES, INC.
500 SOUTH BUENA VISTA AVENUE
BURBANK, CA 91521-0165, US

72 Inventor/es:
Madhani, Akhil J.

74 Agente/Representante:
Ungría López, Javier

ES 2 381 656 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

Mano robótica con dedos similares a los humanos.

5 **Antecedentes de la invención****1. Campo de la invención**

10 La presente invención se refiere en general a la robótica y, más particularmente, a una mano robótica que incluye dedos diseñado para encajar en un factor de forma humana y para mover y comportarse más como los dedos de una mano humana.

2. Antecedentes Relevantes

15 En los últimos años, ha habido una creciente demanda de robots que simulen o imiten más estrechamente a los seres humanos. Por ejemplo, figuras animatronic son sistemas robóticos que están diseñadas para duplicar personajes lo más fielmente posible, y muchos de estos personajes son personajes humanos o similares a humanos. Los robots utilizados para proporcionar figuras animatronic se puede mostrar como parte de paseos, atracciones, espectáculos de teatro, exposiciones comerciales, y otros lugares de ocio y entretenimiento. En esta configuración, existe el deseo de figuras animatronic o robots que imitan el personaje, tal como un personaje de una película de cine o de animación, en términos de su forma, destreza y habilidad para producir movimientos y fuerzas (por ejemplo, el dinamismo de un personaje imitado). Además, puede ser útil que un robot esté diseñado para reproducir capacidades físicas, tales como, caminar y manipular objetos, tales como con los dedos de una mano robótica. Muchos de los personajes se hacen para tener características humanas o elementos, tales como manos, 20 dedos, y similares, aun cuando no es un humano o similar a un humano, por ejemplo, hormigas, aves, monstruos, y así sucesivamente con manos y dedos similares a las de un humano.

Cada vez más, a los diseñadores y fabricantes de robots se les está solicitando el diseño de sistemas robóticos con funciones y capacidades antropomorfizadas o similares a las de un humano para utilizarse en aplicaciones de no 30 entretenimiento. Estos usos pueden incluir un robot diseñado para la atención al paciente en un hospital o centro de terapia física, atención a domicilio para un paciente, o un robot para realizar tareas del hogar. En estas aplicaciones, se espera que los sistemas robóticos interactúen con los seres humanos en una forma útil, pero también en una forma atractiva. Los robots se encuentran por lo general más atractivos cuando se miran y se comportan de una manera familiar para los seres humanos, y se ha aceptado de forma general que una efectiva interacción humano-robot se proporciona por un sistema robótico parecido a los humanos o un robot con características o funciones humanas tales como manos y dedos.

En las aplicaciones de entretenimiento y otras, un aspecto difícil e importante es el diseño de las manos robóticas. Por ejemplo, las manos de un personaje robótico, incluso si el personaje no tiene manos humanas, se diseñan típicamente en un intento de imitar la forma, destreza, dinámica y funcionalidad de la mano humana. Por desgracia, ninguno de los diseños de manos robóticas existentes ha superado con éxito todos los retos de diseño en la presentación de una mano humana robótica. Hay numerosos diseños de efectores robóticos en existencia, pero son por lo general variaciones simplistas de pinzas o mandíbulas de dos dedos con un solo grado de libertad que se utilizan para agarrar o sujetar objetos. 45

Se han producido varias "manos" robóticas, pero algunos de estos diseños sólo tienen un parecido mayor con las manos humanas que la pinza de dos garras, pero por lo general presentan carencia en términos de destreza y forma. Por ejemplo, un dedo humano tiene cuatro grados de libertad (GDL) (aunque sólo 3 GDL se suelen controlar de forma independiente). Sin embargo, con las manos robóticas suelen tener muchos menos GDL, proporcionando algunas manos sólo un GDL en cada mano, lo que limita significativamente su destreza y capacidad de movimiento. Algunos pueden ofrecer un GDL por cada dedo, de tal manera que cada dedo se puede articular de forma independiente. Sin embargo, el movimiento de los dedos puede ser un movimiento simplista como curvarse sobre sí mismo sin el movimiento de lado a lado de cada dedo o el movimiento independiente de partes o dígitos de los dedos como se encuentra en una mano humana. 50

Las manos robóticas existentes que proporcionan un mayor número de GDL son a menudo muy complejas o no coinciden con un factor de forma humana. Por ejemplo, un diseño de mano existente proporciona un total de 24 GDL para la mano con un cumplimiento del factor de forma de dedo relativamente bueno, pero este diseño de mano requiere que el número de cables (o "tendones") y actuadores sea hasta dos veces el número de GDL o cuarenta y ocho en este caso. Esto da como resultado un factor de forma grande en la muñeca y en el antebrazo que es menos humano en apariencia. Un problema adicional con este diseño de mano es que los cables o tendones utilizados para accionar los movimientos de los dedos discurren sobre corredores fijos, de metal o plástico no-lubricados creando problemas importantes de fricción y desgaste. 60

65 Otra mano proporciona dos dígitos para cada "dedo" y utiliza un mecanismo de poleas y actuadores que no se deja confinar con factor de forma humana (por ejemplo, delgados dedos alargados, una muñeca relativamente pequeña y

una palma delgada). Particularmente, en este diseño de mano, se utiliza una disposición "n + 1" para los cables o tendones de accionamiento, lo que reduce el número de cables necesarios, pero la disposición de poleas es tal que cada uno de los cables se envuelve sobre su polea de apoyo en más de 360 grados, lo que requiere que las poleas sean gruesas (por ejemplo, generalmente dos veces el grosor del cable) lo que dificulta la colocación en un confinamiento de factor de forma del dedo. Además, los cables de crean fricción y desgaste adicional a medida que se cruzan y frotan entre sí durante el funcionamiento de la mano. Además, esta mano robótica requiere cuatro unidades de motor por cada dedo, lo que aumenta los costes, la complejidad, el factor de forma y el mantenimiento.

Sin embargo, se pueden diseñar otras manos robóticas para usar un cable más grueso y que accione los dedos con una disposición de empuje/tirón. Los motores están montados proximalmente a la muñeca que se utiliza para apoyar la mano. Para transmitir energía a través de la muñeca, se utilizan ejes flexibles de accionamiento con un movimiento giratorio a medida en contraposición a un movimiento lineal que se transmiten a través de la muñeca. Este movimiento giratorio se convierte en un movimiento lineal por medio de tornillos de avance montados en la palma de la mano. Esto proporciona la ventaja de hacer pasar un número de ejes de transmisión igual al número de GDL de la mano (por ejemplo, doce en un ejemplo de este diseño). Sin embargo, una desventaja de la mano de accionamiento giratorio es que doce tornillos de avance se deben confinar dentro de la palma de la mano, lo que da como resultado una palma grande (es decir, mayor que el tamaño humano). Además, el uso de un cable grueso en disposición de empuje/tirón para accionar los GDL del dedo limita la cantidad de fuerza que se puede aplicar en la dirección de "empuje", lo que puede limitar los usos de este diseño de mano robótica.

Por lo tanto, sigue habiendo una necesidad para el diseño de mano robótica o un sistema robótico que responda a los desafíos asociados con un factor de forma humana, en tanto consigue la funcionalidad esperada de una mano humana. Es preferible que un diseño de mano de este tipo incluya los dedos con un número similar de dígitos como se encuentra en una mano humana y con una destreza y movimiento que sea más humano, como (por ejemplo, dedos que se muevan con un número similar de GDL). También es preferible que el diseño de mano robótica incluya un número relativamente pequeño de componentes y que tome en cuenta los problemas de desgaste y de mantenimiento asociados con el uso de cables (o tendones) de accionamiento.

El documento US 4.834.761 describe una mano robótica en la que para proporcionar tres grados de libertad de movimiento se proporcionan al menos seis elementos de tensión.

Sumario de la invención

De acuerdo con la invención se proporciona una mano robótica de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. Adicionalmente. De acuerdo con la invención se proporciona un sistema de mano robótica de acuerdo con la reivindicación 12.

La presente invención se dirige a los problemas anteriores proporcionando un diseño para una mano robótica con los dedos con tres dígitos y una forma y movimientos similares a la humana para proporcionar una serie de ventajas sobre los diseños de mano y/o dedos anteriores. Las realizaciones de las manos robóticas descritos en el presente documento abarcan factores que incluyen la capacidad para adaptarse a un factor de forma humana, un GDL deseable (por ejemplo, tres GDL por dedo proporcionados en o soportados dentro de la mano robótica), método de accionamiento, la capacidad de controlar con precisión las articulaciones, la capacidad de aplicar fuerzas suficientes para agarrar objetos, y longevidad (por ejemplo, reducir la fricción del tendón o cable y cualquier otro desgaste que pueda de lo contrario causar un fallo o fuerza prematura que implique mantenimiento).

Como se verá claramente, algunas realizaciones de manos robóticas descritas utilizar el mínimo número práctico de elementos de tensión (por ejemplo, cables, tendones, o similares) para accionar tres dedos de GDL (por ejemplo, un accionamiento de n + 1 utilizando cuatro cables o elementos de tensión). Esto es una ventaja significativa cuando el tendido del cable o tendones a través de una muñeca flexible doble articulada, que proporciona un espacio muy limitado cuando se limita a un factor de forma de una muñeca humana. Las manos robóticas de algunas realizaciones pueden utilizar un reducido o incluso un número mínimo de los motores para accionar los dedos. Los motores tienen una complejidad, coste y las limitaciones de confinamiento asociada, y, por tanto, reducir el número de actuadores o motores de accionamiento da como resultado a un diseño de mano más deseable. Además, las realizaciones de la mano utilizan un diseño de polea que permite que el diseño de los dedos coincida con un factor de forma humana. Muchos de los diseños de mano anteriores no estaban obligados a cumplir con una restricción del factor de forma humana, pero esa limitación se impone en muchas aplicaciones animatronic y robóticas de no entretenimiento. Además, el uso de poleas en los propios dedos (por ejemplo, las poleas soportadas sobre los dígitos de los dedos o segmentos de cada conjunto de dedos de una mano), en lugar de cables de deslizamiento sobre o a través de elementos no-lubricados, reduce significativamente la fricción y disminuye el desgaste (es decir, aumenta la longevidad). Las realizaciones de manos pueden utilizar un sistema de mantenimiento de tensión de tendón pasivo para proporcionar el pre-tensado de la unidad de los dedos o accionamiento de cables/tendones. Esto es contrario a un enfoque activo que requiere el uso de motores adicionales junto con su hardware, electrónica y complejidad del software asociados, y un coste añadido. Sin embargo, aún más, las realizaciones de manos robóticas que se describen en el presente documento utilizan típicamente relaciones cinemáticas fijas entre el movimiento del actuador y movimiento de la articulación del dedo.

Más particularmente, una mano robótica está provisto de al menos un conjunto de dedos y, más típicamente, conjuntos de cinco dedos se pueden incluir para simular mejor una mano humana. Para cada conjunto de dedos, la mano robótica incluye un conjunto de accionamiento de dedos que se puede hacer funcionar para aplicar selectivamente la tensión a cuatro elementos de tensión alargados y flexibles (por ejemplo, cable de acero o similar).
 5 Cada uno de los conjuntos de dedos incluye una serie de enlaces o miembros de enlace que se accionan o mueven por tensando/moviendo selectivamente los elementos de tensión por el conjunto de accionamiento. Los enlaces están interconectados con articulaciones pivotantes de tal modo que tienen 3 GDL, y el conjunto de dedos incluye una serie de poleas que se apoyan en los enlaces y que se disponen a brindar apoyo y guiar a los elementos de tensión a través del conjunto de dedos. Los elementos de tensión se extienden preferiblemente sólo parcialmente
 10 alrededor de una cualquiera de las poleas (por ejemplo, sólo una envolvente parcial sobre cada polea contactada), por lo que el conjunto de dedos utiliza un accionamiento de "n + 1" (en el que "n" es el GDL y el valor es el número de elementos de tensión) con una envolvente no helicoidal de los elementos de tensión.

En algunos casos, las poleas pueden tener aproximadamente la mitad de la altura de las poleas utilizadas en los dispositivos que utilizan una envolvente helicoidal. En los sistemas de envolvente helicoidal, una polea sin ranuras o una ranura ancha y plana se puede utilizar de modo que se puede formar una hélice, mientras que en otras aplicaciones se utiliza una sola ranura helicoidal mecanizada. En cualquier caso, el uso de envolvente helicoidal requiere espacio adicional para que la envolvente del cable "pase" a través de la cara de la polea. En contraste con algunas realizaciones descritas en el presente documento, cada uno de los cables o elementos de tensión se puede
 15 envolver alrededor de menos de la mitad de la circunferencia de cada polea contacta, con algún contacto en aproximadamente una cuarta parte de la envolvente o 90 grados. El conjunto de enlaces puede incluir primer, segundo y tercer dígitos o enlaces de dígitos (por ejemplo, para simular los tres dígitos o segmentos de un dedo humano). En tales casos, el enlace tercer enlace de dígito se puede montar de forma pivotante al segundo enlace del dígito, que a su vez está conectado de forma pivotante al primer enlace del dígito. El primer y segundo enlaces
 20 de dígitos se pueden accionar u operar de forma independientemente por el conjunto de accionamiento, con un par de los elementos de tensión o cables terminando en cada uno de estos dos enlaces. Un enlace de acoplador adicional se puede incluir en el conjunto de dedos para interconectar el tercer enlace del dígito al segundo enlace del dígito de tal manera que el tercer enlace del dígito se acciona por el movimiento del segundo enlace del dígito (por ejemplo, el tercer enlace del dígito se puede accionar para comportarse pasivamente como un seguidor o enlace esclavo para el segundo enlace del dígito).
 25
 30

La mano puede incluir también un elemento de palma o placa, un miembro de enlace de base, y un primer miembro de enlace para montar el dígito. El miembro de enlace de base está rígidamente unido a la placa de palma para apoyar el conjunto de dedos dentro de la mano. El primer miembro de enlace para montar el dígito se monta de
 35 forma pivotante al miembro de enlace de base para pivotar alrededor de un primer eje (por ejemplo, con un intervalo de movimiento de aproximadamente 40 grados o 20 grados o menos en cada sentido de giro), mientras que el primer enlace del dígito se acopla de forma pivotante al primer miembro de enlace para montar el dígito para hacerlo pivotar alrededor de un segundo eje que es transversal o incluso ortogonal al primer eje (por ejemplo, con un intervalo de menos de aproximadamente 15 grados en una dirección hacia la izquierda fuera de la placa de palma y
 40 en el intervalo de aproximadamente 75 a 100 grados en sentido horario hacia la placa de palma). De esta manera, el intervalo de movimiento del primer dígito del conjunto de dedos es similar a un dedo humano con un movimiento de lado a lado (por ejemplo, más o menos 13 grados o similar como en relación con un plano vertical que pasa a través del primer eje) y con una pequeña inclinación hacia atrás (tal como, menos que aproximadamente 15 grados en relación con un plano horizontal que pasa por el segundo eje), pero con un gran movimiento de flexión hacia
 45 adelante (tal como, más de 90 grados). El tercer enlace del dígito se acciona por el segundo enlace del dígito de tal modo que ese y el segundo enlace del dígito están enderezados con la inclinación hacia atrás similar a un dedo humano y que ese y el segundo enlace del dígito se rizan aún más hacia el interior con la flexión o rizado hacia adelante del primer enlace del dígito (tal como para formar un puño o agarrar un objeto). En algunas realizaciones, el conjunto de accionamiento está adaptado para proporcionar un sistema de mantenimiento de tensión pasiva para
 50 mantener una tensión deseada en los cuatro elementos de tensión, y estas y otras características permiten que tres actuadores (por ejemplo, motores de accionamiento) accionen o impulsen los cuatro elementos de tensión en lugar de utilizar al menos cuatro actuadores.

Breve descripción de los dibujos

55 La Figura 1 ilustra un sistema robótico que incluye una mano o conjunto de mano robótica, una muñeca, un antebrazo, y conjuntos o mecanismos de accionamiento para cada dedo de la mano robótica (es decir, cinco dedos y cinco conjuntos de accionamiento en este ejemplo);

60 La Figura 2 ilustra una vista en perspectiva ampliada o con más detalle de la mano robótica del sistema de la Figura 1 que muestra los componentes de los dedos robóticos o conjuntos de dedos y su montaje en una placa de apoyo que, a su vez, está unida a la muñeca mostrado en la Figura 1;

65 La Figura 3 es una vista en perspectiva de un dedo o conjunto de dedos robótico de acuerdo con una realización de la invención tal como se puede usar en la mano de las Figuras 1 y 2;

La Figura 4 ilustra una vista en despiece de un conjunto de dedos robóticos de acuerdo con una realización de la

invención tal como se puede utilizar para implementar los dedos de las Figuras 1-3;

Las Figuras 5-7 ilustran vistas parciales esquemáticas de una serie de poleas o conjunto de poleas que se pueden incluir dentro de un dedo, tal como los dedos de las Figuras 1-4, a medida que se pueden utilizar para guiar y/o apoyar cuatro tendones o cables utilizados para conducir o accionar el dedo durante el funcionamiento de un conjunto de dedos que incluye estas series o conjuntos de poleas;

La Figura 8 ilustra una vista lateral del conjunto de dedos robótico de la Figura 3 que ilustra una disposición del enlace de base o de fijación (θ_0) que alimenta los tendones o cables de accionamiento en el dedo en ángulos (por ejemplo, un ángulo de entrada de tendón o similar);

Las Figuras 9-14 ilustran el conjunto de dedos de la Figura 3 en una serie de posiciones o modos de funcionamiento que muestran el intervalo de movimiento del dedo y sus dígitos y el movimiento independiente de tales dígitos para accionar el dedo en una manera más parecida a la humana;

La Figura 15 ilustra esquemáticamente un mecanismo de mantenimiento de tensión pasiva como se puede proporcionar/incluir dentro de los sistemas de manos robóticas tales como el sistema de la Figura 1 o similares;

La Figura 16 es una vista en perspectiva de uno de los conjuntos o mecanismos de accionamiento de dedos del sistema de la Figura 1 que se puede utilizar para accionar de forma independiente un conjunto de dedos conectados con un conjunto de tendones o cables de accionamiento;

La Figura 17 muestra el conjunto de accionamiento de dedos de la Figura 16 que incluye el alambre o cable que se puede accionar por un motor ajustado para proporcionar un conjunto de cuatro tendones o cables de accionamiento en un conjunto de dedos de una mano robótica de acuerdo con una realización de la invención;

La Figura 18 ilustra esquemáticamente una vista parcial de un conjunto que monta el tendón utilizado en manos robóticas de acuerdo con las realizaciones de la invención, tal como en la mano que se muestra en las Figuras 1 y 2;

La Figura 19 ilustra una realización de un conducto flexible que se puede utilizar para guiar/apoyar los tendones o cables de accionamiento de un sistema de mano robótica.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

En resumen, las realizaciones de la presente invención se refieren a sistemas de manos robóticas que abarcan la demanda de muchos años de tener un rendimiento mejorado con simulación mejorada de una mano humana y de los dedos humanos. Las manos robóticas anteriores o bien tenían menos las articulaciones y dígitos/segmentos que los que se encuentran en un dedo humano (es decir, tres segmentos o dígitos) o tenían un tamaño y/o diseño de tal forma que los dedos, la palma, la muñeca, u otras partes no se ajustaban o adecuaban con los factores de forma humana. Los sistemas de manos robóticas descritos en el presente documento proporcionan una mano o un conjunto de mano con quince grados de libertad (GDL) (por ejemplo, tres GDL por dedo) de tal manera que la mano y cada dedo pueden crear una amplia variedad de gestos sin dejar de ajustarse a un factor de forma humana. En cada dedo o conjunto de dedos, una combinación de elementos de tensión (por ejemplo, tendones o cables de la de accionamiento que pueden adoptar la forma de cables de acero flexibles o alambres o cables metálicos), se enlazan o montan en poleas para accionar cuatro articulaciones por dedo, proporcionando tres GDL por dedo, manteniéndose dentro de las limitaciones de tamaño humano. El accionamiento utiliza "n +1" elementos de tensión o tendones de tal manera que los cuatro elementos de tensión se utilizan para accionar tres GDL en cada dedo. De esta manera, cada dedo tiene el factor de forma de un dedo humano, en parte debido a la única polea y elemento de tensión/disposición de accionamiento, y cada dedo se acciona de forma independiente con una destreza, gestos, e intervalos de movimiento de los tres dígitos o segmentos de los dedos de la mano robótica parecidos a la humana.

La Figura 1 ilustra un sistema de mano robótica 100 de acuerdo con una realización de la invención que se muestra en la disposición prototipo (en lugar de con sus motores o accionadores dimensionados y colocados en un brazo, hombro o cuerpo de factor de forma humana). Como se muestra, el sistema 100 incluye una mano robótica o conjunto de mano robótica 110, una muñeca 130, un antebrazo 140, y una serie de conjuntos o mecanismos de accionamiento de dedos 160. Los conjuntos de accionamiento (o unidades de motor) 160 se montan sobre una base de soporte o placa 150, pero en la práctica, los conjuntos de accionamiento 160 se pueden montar en el antebrazo 140, en una parte superior del brazo (no mostrado), o en/sobre el torso (no mostrado) del sistema robótico 100. Aunque no se muestra, una serie de cables o tendones de accionamiento (también denominados elementos de tensión) discurren desde los conjuntos de accionamiento 160 a través del antebrazo 140 y la muñeca 130 para conectarse a las porciones del conjunto de mano 110 (por ejemplo, para accionar o impulsar de forma independiente los dedos de la mano 110).

Los componentes del sistema 100 se describen con más detalle más adelante, pero, en resumen, se puede observar que el conjunto de mano 110, que se muestra con más detalle en la Figura 2, incluye cinco dedos o conjuntos de

dedos 112, 114, 116, 118, 120. Los conjuntos de dedos 112, 114, 116, 118, 120 están rígidamente fijados a una placa 124, que a su vez se monta en la muñeca 130 para moverse con la muñeca 130 y el antebrazo 140. Los conjuntos de dedos 112, 114, 116, 118, 120 se fijan a una base o miembro de enlace inicial (por ejemplo, el enlace l_0 en las siguientes figuras) con el miembro de enlace siguiente (por ejemplo, enlace l_1 en las siguientes figuras) unido a la base o miembro de enlace inicial. La placa 124 se puede configurar para simular una palma humana, tal como con uno de los conjuntos de dedos 120 (por ejemplo, el pulgar) montado fuera del plano en relación con los otros cuatro conjuntos de dedos 112, 114, 116, 118, que pueden estar dispuestos en un patrón semi-circular o de otro tipo (por ejemplo, sin estar sus miembros de enlace de base dispuestos perfectamente en paralelo, por ejemplo) para nuevamente coincidir mejor con la disposición de una mano humana y facilitar un intervalo de movimiento deseado de lado a lado y u otro de los conjuntos de dedos 112, 114, 116, 118 y 120. Un conjunto de accionamiento 160 se proporciona (que puede incluir la operación concurrente, también) para hacer funcionar o accionar de forma independiente un par de o un dedo correspondiente 112, 114, 116, 118, o 120. Por lo tanto, en este sistema de 5-dedos 100, se proporcionan cinco conjuntos de accionamiento 160 para accionar los cinco dedos 112, 114, 116, 118, 120 del conjunto de mano 110.

A continuación se proporciona una descripción del diseño de uno solo de los conjuntos de dedos 112, 114, 116, 118, ó 120 junto con su conjunto de accionamiento o mecanismo de accionamiento por motor 160 asociado, y tal enseñanza se puede aplicar a cualquiera de las parejas de accionamiento/dedos que se muestran en el sistema 100 de las Figuras 1 y 2 para proporcionar un sistema de mano robótica más similar a la humana 100. Además, el sistema 100 incluirá una o más fuentes de alimentación para alimentar los motores de accionamiento de los conjuntos 160, y los conjuntos 160 se podrán hacer funcionar por uno o más controladores para operar y accionar de forma selectiva los dedos 112, 114, 116, 118, 120 así como la muñeca 130 y otras porciones del sistema 100. Tales dispositivos de potencia y control pueden tomar muchas formas para poner en práctica la invención, son bien conocidos por los expertos en la materia, y no se consideran limitantes de la invención. El número de motores de accionamiento (por ejemplo, tres por cada dedo), el pre-tensado de los tendones o cables de accionamiento, y otras características se consideran más importantes para la presente invención y se describen en detalle más adelante.

La Figura 3 ilustra un conjunto de dedos 300 tal como se puede usar en una mano robótica de una realización de la invención (tal como la mano 110 del sistema 100 de las Figuras 1 y 2). En general, el conjunto de dedos 300 se compone de una serie de seis enlaces (etiquetados l_0 a l_6 en las figuras) y ocho ejes (o pasadores/ejes de pivote etiquetados s_0 a s_8 en las figuras a menudo con un eje de pivote dibujado a través de o a lo largo del eje longitudinal de los ejes de este tipo). Además, existen nueve poleas (etiquetadas p_1 a p_9 en las figuras) que se montan en los enlaces o miembros de enlace y se utilizan para apoyar los tendones o elementos de tensión (por ejemplo, cables de accionamiento de acero o similares), que se utilizan para accionar el dedo 300 durante su uso, incluido el movimiento de los tres dígitos con 3 GDL.

Como se muestra en la Figura 3, el conjunto de dedos 300 incluye una base o miembro de enlace inicial (utilizándose el enlace de forma intercambiable con el miembro de enlace) 310 que se monta a través de los orificios de montaje 312, que pueden adoptar la forma de orificios roscados, receptáculos de ajuste a presión o similares, en una placa de mano. El enlace de base (es decir, el enlace l_0) 310 incluye cuatro canales o pasajes de guía de cable 314, y el conjunto 300 se muestra esquemáticamente accionándose o impulsándose por cuatro cables 321, 322, 323, 324 (mostrados también como C_1 a C_4 en las figuras) que se extienden a través de los pasajes 314 hasta el siguiente miembro enlace 330 (el enlace l_1) y sus canales o pasajes 334. El miembro de enlace 330 se monta de forma pivotante en el enlace de base 310 a través del eje o pasador 332 que se extiende a través del orificio 333 en el miembro de enlace 330 (y cuatro poleas como se ha descrito con referencia a la Figura 4). El miembro de enlace 330 (el enlace l_1) y su montaje o articulación pivotante con el enlace de base 310 simula, en parte, la funcionalidad de la articulación de una mano humana pivotando o moviéndose de lado a lado alrededor del eje 332 (o Eje 1).

El conjunto de dedos 300 incluye además un miembro de enlace alargado (el enlace l_2) 340 que imita el primer dígito de un dedo humano. El miembro de enlace 340 se monta de forma pivotante al miembro de enlace 330 en un primer extremo a través del eje 336 que se extiende a través del miembro de enlace 340 y un par de orificios 337 en el cuerpo del miembro de enlace 330, que se disponen para extenderse sobre ambos lados del extremo del miembro de enlace 340. El miembro de enlace (el enlace l_2) 340 pivota al accionarse por los elementos de tensión sobre el eje 336 (Eje 2). El miembro de enlace 340 soporta un conjunto de poleas 344 que pivotan sobre el cuerpo del miembro de enlace 340 sobre los ejes de montaje/ soporte 348 (por ejemplo, el conjunto de poleas 344 puede incluir cuatro poleas como se muestra en la vista en despiece de la Figura 4 para guiar y soportar los elementos de tensión utilizados para accionar el conjunto de dedos 300).

En un segundo extremo del miembro de enlace 340, el conjunto de dedos 300 incluye otro miembro de enlace (el enlace l_3) 350 que imita el segundo dígito del dedo humano. El miembro de enlace 350 se monta de forma pivotante en el miembro de enlace 340 a través de un pasador o eje 356 de tal manera que puede pivotar alrededor del Eje 3. Por lo tanto, cuando se acciona por medio de cables o elementos de tensión 321-324, el conjunto de dedos 300 puede producir un movimiento independiente al dígito/miembro de enlace 350 en relación con el dígito/miembro de enlace 340 sobre del eje 356 (por ejemplo, como un dedo humano el segundo dígito se puede mover manteniendo el primer dígito estacionario o como este dígito se está moviendo también en el nudillo). Una o más poleas 354 se pueden proporcionar en o como parte de miembro de enlace 350, con la Figura 4 que muestra una

única polea (es decir, p_9) formada como una parte del cuerpo del miembro de enlace 350. El conjunto de dedos 300 incluye además otro miembro de enlace 370 que representa el tercer dígito de un dedo humano y se monta de forma pivotante en el segundo dígito o miembro de enlace 350 a través del pasador 364. El movimiento de pivote sobre el Eje 4 o eje 364 está vinculado al movimiento del miembro de enlace 350 a través del miembro enlace 360 (el enlace l_5), que está unido de forma pivotante a ambos miembros de enlace 340 y 370.

Para comprender mejor el diseño y operación de un conjunto de dedos (tal como el conjunto de dedos 300), puede ser útil mostrar una disposición útil para un dedo para su uso con un conjunto de mano robótica en una forma en despiece. La Figura 4 ilustra una vista en despiece de un solo dedo o conjunto de dedos 400 como se puede usar en un conjunto de mano de acuerdo con la presente invención (y utilizado para el dedo 300 aunque otras disposiciones de poleas, configuración del miembro de enlace, y alteraciones de diseño se pueden utilizar para proporcionar la funcionalidad de conjunto de dedos 300). El enlace de base (miembro de enlace l_0) 410 del dedo 400 se debe montar en una placa de palma (tal como, la placa 124 de las Figuras 1 y 2) con orificios de montaje 418. El enlace siguiente (miembro de enlace l_1) 420 puede tomar la forma de una horquilla doble como se muestra. Esto permite que se enlace de forma pivotante a través de los orificios 421 y el Eje 1 (eje o pasador s_1) 416 al enlace de base 410 en el orificio/pasaje 417, mientras que también se enlazan de forma pivotante a través de los orificios 422 y Eje 2 (eje o pasador s_2) 423 al enlace o primer dígito (l_2) 430.

El Enlace (miembro de enlace l_3) 460 se puede construir como un cuerpo unitario o en dos mitades, como se muestra, y el enlace 460 representa un segundo dígito de un dedo humano. El enlace 460 se monta de forma pivotante en el primer enlace del dígito 430 a través del Eje 3 (eje o pasador s_3) 452 que se extiende a través de orificios 450 y 462 en los enlaces 430, 460, respectivamente. El dedo 400 incluye además un enlace 480 (miembro de enlace l_4) que proporciona un tercer dígito del dedo 400 similar a un dedo humano. El enlace 480 se monta de forma pivotante en el Eje 4 (eje o pasador s_4) 474 que se extiende a través del orificio 488 en el tercer enlace del dígito 480 y el orificio 472 en las mitades del segundo enlace del dígito 460. Existe un enlace adicional (miembro de enlace l_5) 468 que se utiliza para acoplar el movimiento de segundo enlace del dígito 460 y el tercer enlace del dígito 480. El enlace 468 se monta de forma pivotante a través de los ejes 458, 482 (ejes o pasadores s_7 y s_8) que se extienden en los orificios 454 y 484 en las líneas 430 y 480. El enlace 468 se fija también de forma pivotante en su extremo proximal con el pasador o eje 458 al primer enlace del dígito 430 a través del orificio 454 (con su extremo distal conectado al tercer enlace del dígito 480 a través del eje 482). Como resultado de esta disposición de montaje, el movimiento del tercer enlace del dígito 480 se conecta al movimiento del segundo enlace del dígito 460 (por ejemplo, el enlace 480 se curva hacia adentro con el enlace 460 y se endereza con el enlace 460, pero no es independiente de este segundo enlace del dígito).

Como se ha mencionado anteriormente, los dedos formados de acuerdo con las realizaciones de la invención se accionan con un conjunto de poleas y elementos de tensión dispuestos para alcanzar un factor de forma que permita que las poleas y los elementos de tensión que se encuentren situados o posicionados dentro del factor de forma humana de un dedo. El dedo 400, por ejemplo, se debe accionar normalmente mediante tendones o cables que se tensan y mueven por un conjunto de accionamiento (tal como el conjunto 160 que se muestra en la Figura 16). Los cables no se muestran en la Figura 4, pero se extenderían a través de los orificios 419 en el enlace de base o bloque de montaje 410 y sobre las poleas que se muestran como parte del dedo 400 para la terminación o fijación en los enlaces (como se describirá para cada uno de los cuatro cables con referencia a las siguientes figuras). En una realización, los cables de acero (por ejemplo, Industrias SAVA 2024 SN o similares) se utilizan para los elementos de tensión. Los cables de acero operan sobre poleas en el dedo 400 y finalizan en cualquiera del primer enlace del dígito 430 o segundo enlace del dígito 460.

Con referencia a la Figura 4, las poleas 411, 412, 413 y 414 (poleas p_1 a p_4) son cada una poleas intermedias de una sola ranura que viajan en el Eje 1 416 (eje o pasador s_1), que se extiende a través del enlace de base 410 a través del orificio o conducto 417. Las poleas 436 y 434 (poleas p_5 y p_7) se apoyan y se hacen girar alrededor del Eje 2 423 (eje o pasador s_2), que se extiende a través de un orificio 432 en un primer extremo/proximal del primer enlace del dígito 430. La polea 436 es una polea intermedia de doble ranura, mientras que la polea 434 es una polea intermedia de una sola ranura. La polea 438 (polea p_6) es también una polea intermedia de doble ranura, que es compatible con y se hace girar alrededor del eje 440 (eje o pasador s_3) que se extiende a través del orificio 441 en el primer enlace del dígito 430 próxima a la polea 436. La polea 442 (polea p_8) es una polea intermedia de doble ranura que se apoya y se hace girar alrededor del eje de la polea intermedia 448 (eje o pasador s_4) que se extiende a través de un orificio 446 en un segundo extremo/distal del primer enlace del dígito 430. En este diseño, la polea p_9 se mecaniza en una mitad del cuerpo del segundo enlace del dígito 460 (pero también se podría diseñar como una polea intermedia separada, en cuyo caso se puede apoyar y hacerse girar alrededor del Eje 3, eje 452 (eje s_5)). Las placas de retención o de guía 444 y 470 se pueden incluir para retener poleas y/o cable en el primer y segundo enlaces de dígitos 430, 460.

Las realizaciones de dedos robóticos que se describen en el presente documento se operan por lo general a través de cuatro tendones o cables (por ejemplo, elementos de tensión que pueden adoptar la forma de cables de acero o similares) en una disposición "n + 1". Es decir, cuatro tendones que se mantienen en tensión se utilizan para accionar cada uno de los 3 grados de libertad (GDL) de cada dedo. Las Figuras 5 a 7 muestran vista parciales de un conjunto de dedos robóticos 500 que ilustran el conjunto de poleas y el segundo enlace del dígito para explicar tendón o cable

ejemplar y/o la terminación o fijación dentro de los dedos robóticos de la invención. Los cuatro cables o tendones están etiquetados c_1 a c_4 , y estos pueden ser los cables que se muestran en la Figura 3 utilizados para accionar el dedo 300. Como se muestra, el conjunto de poleas para el conjunto de dedos 500 (que puede ser el dedo 300 ó 400 por ejemplo) incluye nueve elementos de poleas 514, 518, 520, 526, 530, 540, 554 siendo algunas poleas de un solo carril y siendo algunas poleas de doble carril para proporcionar las poleas p_1 a p_9 como se muestra (por ejemplo, el elemento de polea o poleas 514 representan dos poleas individuales como lo hace el elemento 518, mientras que los elementos 520, 526, y 540 son poleas de doble ranura).

La Figura 5 muestra el cable o tendón 510 (o cable c_1 y su encaminamiento en el conjunto de poleas del dedo 500, así como su punto de terminación de 558 en el cuerpo del segundo enlace del dígito 550 (enlace l_3). Desde el punto de terminación 558 en el enlace 550, el cable o tendón 510 se hace pasar alrededor de la polea 554 y hace una forma de "S" en el lado opuesto de la polea 540 en contacto con uno de los dos carriles de esta polea 540. Continúa hasta la polea 526 (de nuevo, en contacto con uno de sus carriles) y luego se envuelve en otra forma de "S" en torno al lado opuesto de la polea 520 contra uno de sus dos carriles. Continúa hasta la porción de la polea p_2 del elemento de polea 514 donde se curva ligeramente hacia el interior del dedo con el fin de mantener el contacto con la polea 514. Obsérvese que el cable 510 utiliza la ranura o canal interior de las poleas 520, 526, y 540. También, significativamente, el tendido de cables que se muestra en la Figura 5 no requiere ni crea ninguna hélice (una envolvente completa alrededor de una polea) sino que, en cambio, sólo exige que el cable 510 se envuelve en parte (por ejemplo, menos de 180 grados de contacto y, a menudo, de menos de aproximadamente 90 grados de contacto entre la polea y el tendón 510). Esto aumenta el número de poleas necesarias en el conjunto de poleas del dedo 500, pero reduce la cantidad de fricción al tiempo que permite que el dedo se ajuste a un factor forma de un dedo humano (por ejemplo, facilita la miniaturización).

La Figura 6 ilustra el conjunto de dedos 500 con el tendón 610 (cable c_2) encaminado a través del conjunto de poleas. El tendón 610 se muestra para terminar en segundo enlace del dígito 550 en la terminación o punto de montaje 616 en el lado opuesto de la polea 554 como lo hizo el tendón 510 (cable c_1). Se envuelve parcialmente alrededor de la polea 554 y hace una forma "S" en el lado opuesto de la polea 540. El tendón 610 sigue en su ruta hasta la polea 526 y hace otra forma de "S" en la polea 520. Se continúa hasta las poleas 518 alrededor del que se flexiona ligeramente con el fin de mantener el contacto con la polea p_3 . Como se muestra, el tendón 610 utiliza las ranuras exteriores de las poleas 520, 526, y 540, y el tendón 610 no se enruta completamente alrededor de cualquiera de las poleas del conjunto de dedos 500 (es decir, no se forman hélices), sino que sólo contacta con una porción cada canal o ranura de contacto de las poleas. Obsérvese que las poleas p_1 , p_2 , p_3 y p_4 son poleas individuales que se pueden hacer girar de forma independiente (y no cuatro ranuras diferentes en dos poleas).

La Figura 7 ilustra el conjunto de dedos 500 con tendones 720 y 740 (cables c_3 y c_4) enrutados a través del conjunto de poleas. El tendón 720 termina en 726 en el primer enlace del dígito l_2 (no se muestra en la Figura 7 para la facilidad de ilustrar el enrutamiento de los cables sino que puede ser el enlace 430 del conjunto de dedos 400 o el enlace 340 del conjunto 300). El tendón 720 se extiende desde el enlace l_2 sobre una porción de la polea 530. Continúa en la porción de polea p_4 del elemento de polea 518, donde se envuelve ligeramente hacia el interior del dedo 500 con el fin de mantener el contacto con el elemento de polea 518. El tendón 740 (cable c_4) termina también en un primer enlace del dígito l_2 en 746, pero continúa en el lado opuesto de la polea 530 como el tendón 720. El tendón 740 se encamina entonces en la polea p_1 , en el que se envuelve o curva ligeramente hacia el interior del dedo 500 para mantener el contacto con la polea p_1 . De nuevo, los cables no se envuelven en una forma helicoidal sobre ninguna de las poleas del dedo 500, y ninguno de los cables se frota contra sí mismos o entre sí, lo que limita la fricción y aumenta la longevidad del dedo 500.

La Figura 8 ilustra una vista ortogonal del conjunto de dedos 300 de la Figura 3 (que se puede diseñar con la disposición de poleas y el enrutamiento de cables mostrados en las Figuras 3 y 4, respectivamente). El conjunto 300 se muestra incluyendo los cables 322, 323 que se extienden en orificios o pasajes 314 en miembro de enlace de base 310 para ponerse en contacto con poleas en el miembro de enlace 330 (enlace l_1) y luego en las poleas en el primer enlace del dígito 340 (es decir, las poleas p_5 y p_7 apoyadas en el enlace l_2). Como se puede observar, los orificios de guía de cable o pasajes 314 en el bloque o enlace de base 310 están inclinados hacia fuera desde la cara o lado del cuerpo de enlace 310 en el que se reciben los cables 322, 323 con el fin de acomodar la ligera envolvente sobre las poleas p_1 , p_2 , p_3 y p_4 hecha por los tendones c_1 a c_4 (sólo estando los cables 322, 323 visibles en la Figura 8). El ángulo ayuda a mantener el contacto deseado entre una porción de cada una de las poleas p_1 a p_4 y los cables c_1 a c_4 .

Los dedos de las realizaciones de acuerdo con la invención, tales como los adaptadas como se muestra con el conjunto de dedos 300, se puede diseñar para proporcionar un intervalo de movimiento de cada uno de los dígitos/segmentos de dedos que es similar al encontrado u obtenido en un dedo humano. Las Figuras 9-14 muestran el conjunto de dedos 300 en una variedad de posiciones o modos de operación que se pueden conseguir debido a la disposición de las articulaciones y mediante el accionamiento a través del movimiento por los conjuntos de accionamiento de los elementos de tensión o cables en las poleas incluidas. Específicamente, las Figuras 9 y 10 ilustran el intervalo de movimiento de lado a lado proporcionado por el conjunto de dedos 300 como se encuentra en el dedo humano en el nudillo. Por ejemplo, la Figura 9 muestra el dedo 300 en una primera posición lateral (la posición más a la izquierda) mientras que la Figura 10 muestra el dedo 300 en una segunda posición lateral (la

posición más a la derecha). Estas figuras muestran el enlace 330 (enlace l_1) a medida que se hace girar completamente de lado a lado en el pasador o el eje 332 o se hace girar alrededor del Eje 1 del dedo 300.

5 La Figura 9 muestra que el giro está en un ángulo máximo, θ , que puede ser de menos de unos 20 grados tal como aproximadamente 13 grados como se muestra (giro negativo o positivo dependiendo de la orientación con el giro pareciendo ser negativo o en sentido antihorario en la Figura 9). La Figura 10 muestra que el giro está a un ángulo máximo, α , en la otra dirección u opuesta (por ejemplo, en sentido horario o un ángulo de giro positivo en relación con un plano ortogonal que se extiende hacia arriba a través del Eje 1). Este puede tener aproximadamente la misma magnitud que el giro en la otra dirección para el movimiento simétrico de lado a lado o puede diferir en una
10 cierta magnitud. En un ejemplo, el ángulo de giro, α , es también menos de aproximadamente 20 grados o de aproximadamente 13 grados como se muestra. Las Figuras 9 y 10 muestran que el intervalo de movimiento del enlace de l_1 en relación con el enlace l_0 sobre el Eje 1 es aproximadamente de más o menos 13 grados. En los extremos del movimiento, se puede crear un contacto entre las partes planas del enlace l_1 y del enlace l_0 (por ejemplo, una porción del cuerpo de enlace 330 puede colindar o ponerse en contacto con una superficie próxima del
15 bloque o enlace de base 310 para actuar como un límite o detener el giro del enlace 330 alrededor del pasador o eje 332).

Las Figuras 11 y 12 ilustran el conjunto de dedos 300 en primera y segunda posiciones verticales (por ejemplo, posiciones en relación con un plano horizontal que pasa a través del pasador 336 en el enlace 330), con la Figura 11 mostrando el dedo 300 en la posición doblada hacia atrás (el primer enlace del dígito 340 doblado alejándose de la placa de palma) y la Figura 12 mostrando el dedo en una posición totalmente doblada hacia adelante (el primer enlace del dígito 340 doblado hacia dentro, hacia la placa de palma). Los dedos de la mano humana no se extienden muy lejos hacia atrás o hacia fuera de la palma, y, por tanto, el dedo 300 que se muestra en la Figura 11 tiene una primera posición vertical asociada con la máxima inclinación hacia atrás con un ángulo relativamente pequeño de giro, β , tal como menos de aproximadamente 20 grados (en sentido antihorario o giro negativo en relación con el pasador 336) y, en un ejemplo, aproximadamente 13 grados. Además, en esta posición, los dígitos del dedo 300 son generalmente rectos o están en una línea con enlaces 340, 350, 370 y generalmente alineados o siendo sus ejes longitudinales planos, pero en algunos casos, el segundo enlace del dígito 350 y el tercer enlace del dígito 370 puede arquearse hacia atrás más allá del primer enlace del dígito 340 similar al del dedo humano. El recorrido a esta
20 posición vertical se puede limitar con una parada en el enlace 330 o enlace 340 o, en algunos casos, el recorrido en esta dirección está limitado por el funcionamiento de los elementos de tensión o cables (o por la operación de motores de accionamiento).

Por el contrario, los dedos humanos se puede curvar hacia adentro, hacia la palma de la mano para formar un puño o para agarrar objetos. Con esto en mente y como se muestra en la Figura 12, el conjunto de dedos 300 está diseñado para permitir que el primer enlace del dígito 340 (o enlace l_2) se haga girar a través de un ángulo relativamente grande de giro, τ , alrededor del pasador o eje 336 (Eje 2) tal como un giro a la derecha hasta la segunda posición vertical mostrada de al menos aproximadamente 75 grados y más típicamente al menos aproximadamente 90 grados (mostrando 93 grados). Cuando se consideran en conjunto, las Figuras 11 y 12 muestran el intervalo de movimiento del enlace l_2 en relación con el enlace l_1 sobre el Eje 2, y este intervalo puede ser de aproximadamente 13 grados negativos (giro en sentido antihorario) a aproximadamente 93 grados positivos (giro e sentido horario) o más.
35

Como se ha mencionado anteriormente, el segundo enlace del dígito 350 (enlace l_3) se puede accionar independientemente con respecto al primer enlace del dígito 340 (enlace l_2). La Figura 13 muestra el conjunto de dedos 300 en una posición cerrada o totalmente curvada hacia dentro con el segundo enlace del dígito 350 girado alrededor del pasador 356 o Eje 3 hasta un ángulo de giro positivo (en sentido horario), α , de al menos aproximadamente 90 grados y más típicamente al menos aproximadamente 100 grados. En otras palabras, el segundo enlace del dígito 350 tiene un intervalo de movimiento sobre el Eje 3 o el eje 356 de aproximadamente 0 a 100 grados.
45

En algunas realizaciones, el tercer enlace del dígito 370 (enlace l_4) se acopla al segundo enlace del dígito 340 (enlace l_3) como un enlace esclavo. Se observará en la Figura 13 que el tercer enlace del dígito 370 (enlace l_4) se hace girar en relación a o con el enlace 340 (enlace l_3). La Figura 14 ilustra el conjunto de dedos 300 con el segundo enlace del dígito 350 o l_3 como una línea para mostrar mejor el enlace 360 (enlace l_5). Este giro es un giro pasivamente acoplado y es una función del giro del segundo enlace del dígito 350 (enlace l_3) al primer enlace del dígito 340 (enlace l_2). Como se comprenderá a partir de la Figura 14, el enlace 360 (enlace l_5) pivota alrededor del tercer enlace del dígito 370 (enlace l_4) en el eje o pasador 1412 (eje s_8) y sobre el primer enlace del dígito 340 (enlace l_2) en el eje 1410 (eje s_7). Las distancias entre el eje 1410 (eje s_7) y el Eje 3 en el enlace 340 se pueden establecer para ser aproximadamente 1,3 veces menor que la distancia entre el eje 1412 (eje s_8) y el Eje 4 en el enlace 370. Obsérvese que este tipo de acoplamiento se puede conseguir también usando poleas y cables.
55

El movimiento de cada una de las articulaciones de los dedos está relacionado con el movimiento de cada tendón. Si cada posición de articulación se etiqueta q_1, q_2, q_3 correspondiendo a los movimientos de enlace relativos en cuanto a los Ejes 1, 2 y 3, respectivamente. Las velocidades de cada articulación vienen dadas por \dot{q}_i , en las que las unidades serán radianes por segundo. Las velocidades de cada cable vienen dadas por c_i , en el que las unidades
65

serán metros por segundo. Si el radio de cada polea viene dado en metros, entonces tenemos la siguiente relación:

$$\begin{pmatrix} \dot{c}_1 \\ \dot{c}_2 \\ \dot{c}_3 \\ \dot{c}_4 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & -r_3 & -r_4 \\ r_1 & r_3 & r_4 \\ -r_1 & r_2 & 0 \\ -r_1 & -r_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{pmatrix}$$

5 Obsérvese que los movimientos de los tendones no son independientes. Es decir, las tres velocidades de articulación definen las velocidades de los cuatro tendones si han de permanecer en tensión. Dicho de otro modo, si tres de las cuatro velocidades del tendón están bajo orden, la velocidad del cuarto tendón se define por la ecuación anterior. Si las velocidades tuvieran que variar excesivamente de las relaciones definidas por la ecuación, el tendón o bien se extendería o perdería la tensión.

10 Como se ha mencionado anteriormente, el movimiento de los tendones o cables no es independiente. Una forma de hacer funcionar los tendones de los dedos sería conectar cada tendón a un actuador lineal independiente. En este caso, el movimiento de los cuatro actuadores tendría que coordinarse para mantener la relación en la ecuación anterior y al mismo tiempo mantener la tensión del cable. Otro enfoque consiste en utilizar un mecanismo para hacer cumplir esta relación de modo que sólo tres actuadores o motores son necesarios para accionar cada dedo de las
15 manos robóticas que se han descrito en el presente documento. Un mecanismo 1500 de este tipo, que se puede considerar como un mecanismo de mantenimiento de tensión pasiva, se muestra esquemáticamente en la Figura 15. Aquí, los tendones c_1 y c_2 forman un bucle que se apoya en la polea p_{10} . Los tendones c_3 y c_4 están hechos para formar un bucle que se apoya en polea p_{11} . La relación deseada se ve entonces forzada a través de un mecanismo (no mostrado) que obliga a los ejes de las poleas p_{10} y p_{11} viajar en paralelo al eje-y en la Figura 15. Las velocidades de cada polea a lo largo de este eje, v_1 y v_2 , son iguales y opuestas (por ejemplo, $v_1 = -v_2$).
20

En este caso, la relación cinemática de la articulación anterior con respecto al tendón que representa la ecuación se satisface, y sólo tres de los cuatro tendones necesitan accionarse a través de actuadores controlados o motores de accionamiento con el fin de accionar el dedo. En las posiciones iniciales de las poleas p_{10} y p_{11} se establecen de tal
25 manera que hay una tensión inicial en el cable, después, esa tensión se puede mantener de forma pasiva. Si los tendones c_1 , c_3 , y c_4 se accionan mediante los actuadores m_1 , m_2 , y m_3 , cuando la dirección del movimiento positivo es la misma, entonces existe la siguiente relación (con las posiciones teniendo unidades en metros e indicadas sin puntos sobre las letras/símbolos y las velocidades (\dot{m}_i y \dot{q}_i) teniendo unidades en metros por segundo con puntos mostrados sobre las letras/símbolos):
30

$$\begin{pmatrix} \dot{m}_1 \\ \dot{m}_2 \\ \dot{m}_3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & -r_3 & -r_4 \\ -r_1 & r_2 & 0 \\ -r_1 & -r_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{pmatrix}$$

La Figura 16 ilustra el conjunto o mecanismo de accionamiento de dedos 160, y este mecanismo 160 está adaptado para implementar el mecanismo de mantenimiento de tensión pasiva descrito anteriormente que permite que tres
35 actuadores (o motores de accionamiento, en este ejemplo) se utilicen para operar o accionar cuatro elementos de tensión o tendones o cables. El sistema o conjunto 160 incluye tres actuadores 1617 que pueden estar provistos de motores DC sin escobillas o similares que se mantienen en la carcasa del motor 1619, que a su vez se pueden fijar a una placa de base 1620. Cada motor 1617 en algunas aplicaciones puede tener un codificador 1618 para registrar o determinar la posición de giro para el control preciso de un conjunto de dedos enlazados. El eje de salida de cada
40 motor 1617 se acopla a un tornillo de avance 1605 a través de un acoplamiento flexible 1611, que se puede adaptar para acomodar una desalineación entre el eje de accionamiento y el tornillo de avance 1605. El tornillo de avance 1605 está soportado por un cojinete delantero 1603 y un cojinete trasero 1610, que soporta las cargas de empuje sobre el tornillo de avance 1605.

45 El tornillo de avance 1605 impulsa una tuerca 1607, que se monta en un bloque 1606. Se evita que este bloque 1606 gire por medio de una "lengüeta" que se monta en una placa ranurada 1604. En una realización, la placa ranurada 1604 se fabrica de acetal, lo que proporciona una superficie deslizante de baja fricción. Cada bloque 1606 se monta con una placa de fijación 1608 que se utiliza para asegurar un tendón de cable a través del que se transmite el movimiento lineal. El mecanismo de mantenimiento de tensión pasiva está provisto de dos poleas 1613

5 y 1614 que se montan a un brazo de pivote 1621 a través de los ejes 1615 y 1616. El brazo de pivote 1621 pivota sobre un enlace 1622, que se ve obligado a deslizarse en una ranura en el montaje del motor 1619. El movimiento del enlace 1622 se ve limitado por un tornillo de tensado 1623 que se captura en un orificio en el bloque de montaje del motor 1619. La acción pivotante del brazo 1621 se aproxima muy de cerca a la restricción en la ecuación $v_1 = -v_2$ en el intervalo de movimiento del dedo.

10 La Figura 17 muestra el mecanismo de accionamiento de dedos 160 con los tendones o cables 1710, 1720, 1730, 1740 (o cables c_1 a c_4) enrutados a través del mecanismo de mantenimiento de tensión pasiva. Los cables 1710, 1720, 1730, 1740 se hacen pasar a través de orificios en el bloque de soporte del cojinete 1601 hasta las poleas 1613 y 1614. Al apretar el tornillo tensor 1623, los tendones de los dedos 1710, 1720, 1730, 1740 se pueden tensar. Ajustes adicionales 1602 en el bloque de soporte del cojinete 1601 se pueden utilizar para ajustar la posición de las articulaciones de los dedos en relación con las tuercas de los tornillos se avance 1607.

15 En la descripción anterior, se asume en general que la longitud de los tendones o cables entre el conjunto de dedos y el conjunto de accionamiento de dedos permanece constante. Sin embargo, se espera que el conjunto de accionamiento y los conjuntos de dedos se puedan montar en lados opuestos de una articulación de la muñeca y la longitud de los cables puede no ser constante. Para apoyar una implementación de este tipo, se pueden utilizar conductos de tendón flexibles para mantener la restricción de longitud constante. Por ejemplo, la Figura 18 muestra un conjunto de conexión del cable o tendón 1800 con un conducto flexible 1830 montado en un extremo con respecto a un bloque de soporte del cojinete 1810 en el conjunto de accionamiento y en el otro extremo con respecto a un enlace de base 1820 (enlace l_0 de un conjunto de dedos). El tendón de cable 1840 se extiende después a través de este conducto 1830. El conducto 1830 soporta una carga de compresión que es igual en magnitud a la tensión en el tendón 1840. La Figura 19 ilustra una implementación de un conducto flexible 1900, y, como se muestra, esta realización utiliza un conducto 1900 que está formado de un alambre o bobina de acero inoxidable cuadrada 1910 que proporciona la ventaja de tener superficies interiores y exteriores lisas. Los conductos 1910 se encuentran en línea con un tubo revestido con teflón impregnado con fibra de vidrio o similar 1920, lo que reduce la fricción entre los tendones de acero (tal como, el tendón 1840) y el conducto 1910 (o conducto 1830). Además, la interfaz entre estos componentes se puede lubricar con Teflón u otro lubricante.

30 Aunque la invención se ha descrito e ilustrado con un cierto grado de particularidad, se entiende que la presente descripción se ha hecho sólo a modo de ejemplo, y que se puede recurrir a numerosos cambios en la combinación y disposición de las partes a por aquellos expertos en la materia, sin alejarse del espíritu y alcance de la invención, como se reivindica a continuación

REIVINDICACIONES

1. Una mano robótica (110), que comprende:

5 al menos un conjunto de dedos (300); y
 para cada uno de los conjuntos de dedos (300) incluidos en la mano robótica, un conjunto de accionamiento
 que aplica selectivamente tensión a cuatro elementos tensión alargados y flexibles (c_1, c_2, c_3, c_4);
 en la que el al menos un conjuntos de dedos comprende un conjunto de enlaces (l_1, l_2, l_3) accionados por
 los elementos de tensión (c_1, c_2, c_3, c_4);
 10 en la que los enlaces (l_1, l_2, l_3) están interconectados con articulaciones de pivote; y
 en la que el conjunto de dedos (300) comprende además un conjunto de poleas (p_1, p_2, p_3, p_4) soportadas
 en los enlaces (l_1, l_2, l_3) para apoyar y guiar a los elementos de tensión (c_1, c_2, c_3, c_4) en el conjunto de
 dedos;
 15 **caracterizada por que se proporcionan cuatro elementos tensión alargados y flexibles (c_1, c_2, c_3, c_4),**
 extendiéndose los elementos de tensión sólo parcialmente sobre una cualquiera de las poleas ($p_1, p_2, p_3,$
 p_4) con envolvente no helicoidal de los elementos de tensión, de tal modo que las articulación de pivote
 tienen tres grados de libertad de movimiento.

20 2. La mano robótica de la reivindicación 1, en la que al menos una porción de las poleas (p_1, p_2, p_3, p_4) son poleas de
 una sola ranura sin envolventes helicoidales y en la que los elementos de tensión (c_1, c_2, c_3, c_4) comprende cada uno
 un cable.

25 3. La mano robótica de la reivindicación 2, en la que cada uno de los elementos de tensión (c_1, c_2, c_3, c_4) se envuelve
 alrededor menos de la mitad de la circunferencia de cualquiera de las poleas (p_1, p_2, p_3, p_4).

30 4. La mano robótica de la reivindicación 1, en la que el conjunto de enlaces (l_1, l_2, l_3) comprende un primer enlace del
 dígito (l_1), un segundo enlace del dígito (l_1), y un tercer enlace del dígito (l_3), estando el tercer enlace del dígito
 montado de forma pivotante en el segundo enlace del dígito y estando el segundo enlace del dígito montado de
 forma pivotante en el primer enlace del dígito, y en la que el primer y segundo enlaces de dígitos se pueden operar
 de forma, independientemente, por el conjunto de accionamiento aplicando tensión a los elementos de tensión ($c_1,$
 c_2, c_3, c_4).

35 5. La mano robótica de la reivindicación 4, en la que el conjunto de dedos comprende además un enlace adicional
 que acopla el tercer enlace del dígito al segundo enlace del dígito de tal manera que el tercer enlace del dígito se
 acciona por el movimiento del segundo enlace del dígito como un enlace seguidor pasivo.

40 6. La mano robótica de la reivindicación 4, comprendiendo además el conjunto de dedos una placa de palma (124),
 un miembro de enlace de base, y un primer de enlace que monta el dígito (310), en la que el miembro de enlace se
 fija rígidamente unido a la placa de palma (124) para apoyar el conjunto de dedos, en la que el primer miembro de
 enlace que monta el dígito se monta de forma pivotante en el miembro de enlace de base para pivotar sobre un
 primer eje, y en la que el primer enlace del dígito se acopla de forma pivotante al primer miembro de enlace que
 monta el dígito para pivotar sobre un segundo eje transversal al primer eje.

45 7. La mano robótica de la reivindicación 6, en la que un intervalo de movimiento para el primer miembro de enlace
 que monta el dígito en relación con el miembro de enlace de base es de menos de aproximadamente 40 grados para
 definir un movimiento de lado a lado del primer enlace del dígito y en la que un intervalo de movimiento del primer
 enlace del dígito en relación con el primer miembro de enlace que monta el dígito es menor que aproximadamente
 15 grados de giro alrededor del segundo eje en una dirección en sentido antihorario en relación con un plano que se
 extiende a través del segundo eje y en una dirección en sentido horario con relación el plano que se extiende a
 50 través del segundo eje está en el intervalo de aproximadamente 75 a 100 grados.

55 8. La mano robótica de la reivindicación 4, en la que el primer y segundo de los elementos de tensión terminan en el
 segundo enlace del dígito y en la que el tercero y cuarto (c_3, c_4) de los elementos de tensión terminan en el primer
 enlace del dígito.

9. La mano robótica de la reivindicación 1, en la que el conjunto de accionamiento consiste en tres actuadores que
 accionan los cuatro elementos de tensión (c_1, c_2, c_3, c_4).

60 10. La mano robótica de la reivindicación 1, que comprende además una muñeca articulada situada entre los
 conjuntos de dedos y los conjuntos de accionamiento.

65 11. La mano robótica de la reivindicación 10, que comprende además conductos de cables que se extienden a
 través de la muñeca articulada, en la que cada uno de los elementos de tensión (c_1, c_2, c_3, c_4) se extiende a través
 de uno de los conductos de cables y en la que los conductos de cables comprenden cada uno una pared exterior
 formada con alambre cuadrado que está en línea en las superficies internas con un tubo de revestimiento y los
 elementos de tensión comprenden cada uno un cable insertado a través uno correspondiente de los tubos de

revestimiento.

12. Un sistema de mano robótica, que comprende:

- 5 un conjunto de mano robótica que comprende un elemento de palma y una pluralidad de dedos (112, 114, 116, 118, 120) fijados al elemento de palma, en el que los dedos comprenden un conjunto de enlaces y las articulaciones adaptadas para proporcionarle al dedo tres grados de libertad (GDL) de movimiento;
- 10 un conjunto de cables de accionamiento (c_1, c_2, c_3, c_4) para accionar cada uno de los dedos para que realicen el movimiento; y
- un mecanismo de accionamiento de dedos para cada uno de los dedos;
- caracterizado por que** el conjunto de cables de accionamiento comprende cuatro cables de accionamiento, comprendiendo además el mecanismo de accionamiento un sistema de mantenimiento de tensión pasiva que mantiene cada uno de los cables de accionamiento bajo tensión y comprendiendo tres actuadores que aplican selectivamente fuerzas adicionales de tensión en los cuatro cables de accionamiento (c_1, c_2, c_3, c_4) para accionar el dedo, de tal forma que las articulaciones tienen tres grados de libertad de movimiento.
- 15

13. El sistema de la reivindicación 12, en el que el sistema de mantenimiento de tensión pasiva comprende una primera y segunda poleas (p_1, p_2), un primer par de los cables de accionamiento se conectan entre sí y se envuelven sobre la primera polea (p_1), un segundo par de los cables de accionamiento se conectan entre sí y se envuelven sobre la segunda polea (p_2), y la primera y segunda poleas (p_1, p_2), están colocadas dentro del mecanismo de accionamiento de dedos para colocar cada uno de los cables bajo tensión.

20

14. El sistema de la reivindicación 12, en el que los tres actuadores comprenden tres motores de accionamiento para aplicar selectivamente una fuerza de tensión sobre tres de los cuatro cables de accionamiento.

25

15. El sistema de la reivindicación 12, en el que cada uno de los dedos comprende primer, segundo y tercer miembros de enlace y, estando el primer miembro de enlace montado en el elemento de palma para girar alrededor del primer y segundo ejes ortogonales, estando el segundo miembro de enlace montado de forma pivotante en un extremo del primer miembro de enlace distal al elemento de palma, y estando el tercer miembro de enlace montado de forma pivotante en un extremo del segundo miembro de enlace distal al primer miembro de enlace y, además, en el que un par de cables de accionamiento se unen al segundo miembro del dígito y un par de cables de accionamiento se unen al primer miembro de enlace del dígito para permitir que los actuadores muevan independientemente el primer miembro de enlace alrededor del primer y segundo ejes y que muevan independientemente también el segundo miembro de enlace en relación con el primer miembro de enlace.

30

35

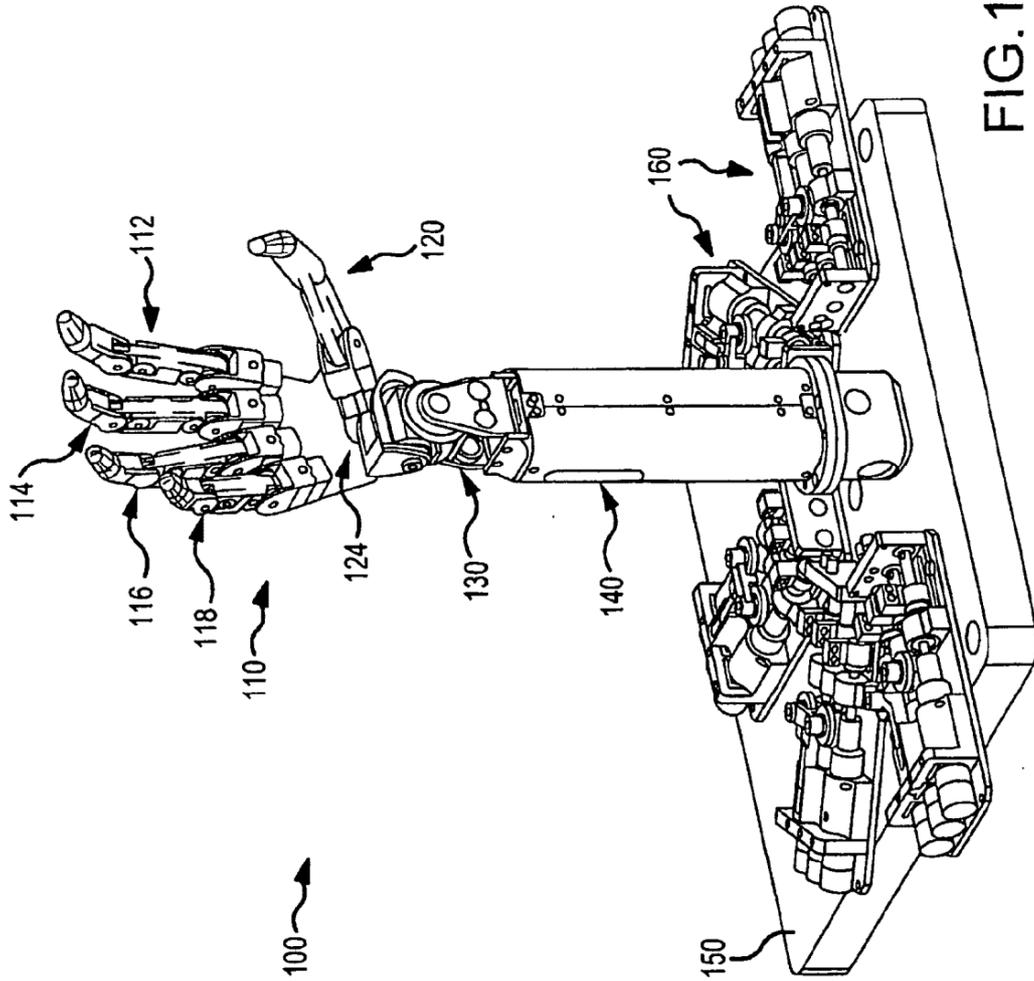


FIG.1

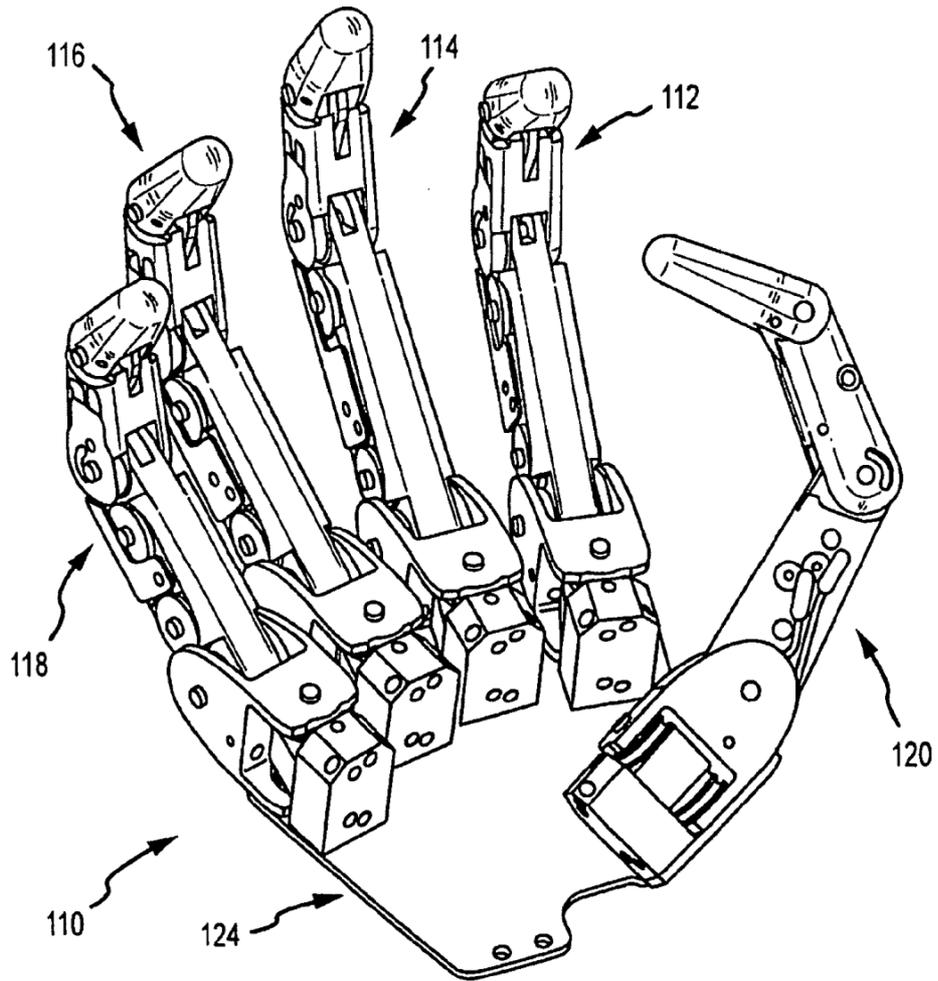


FIG.2

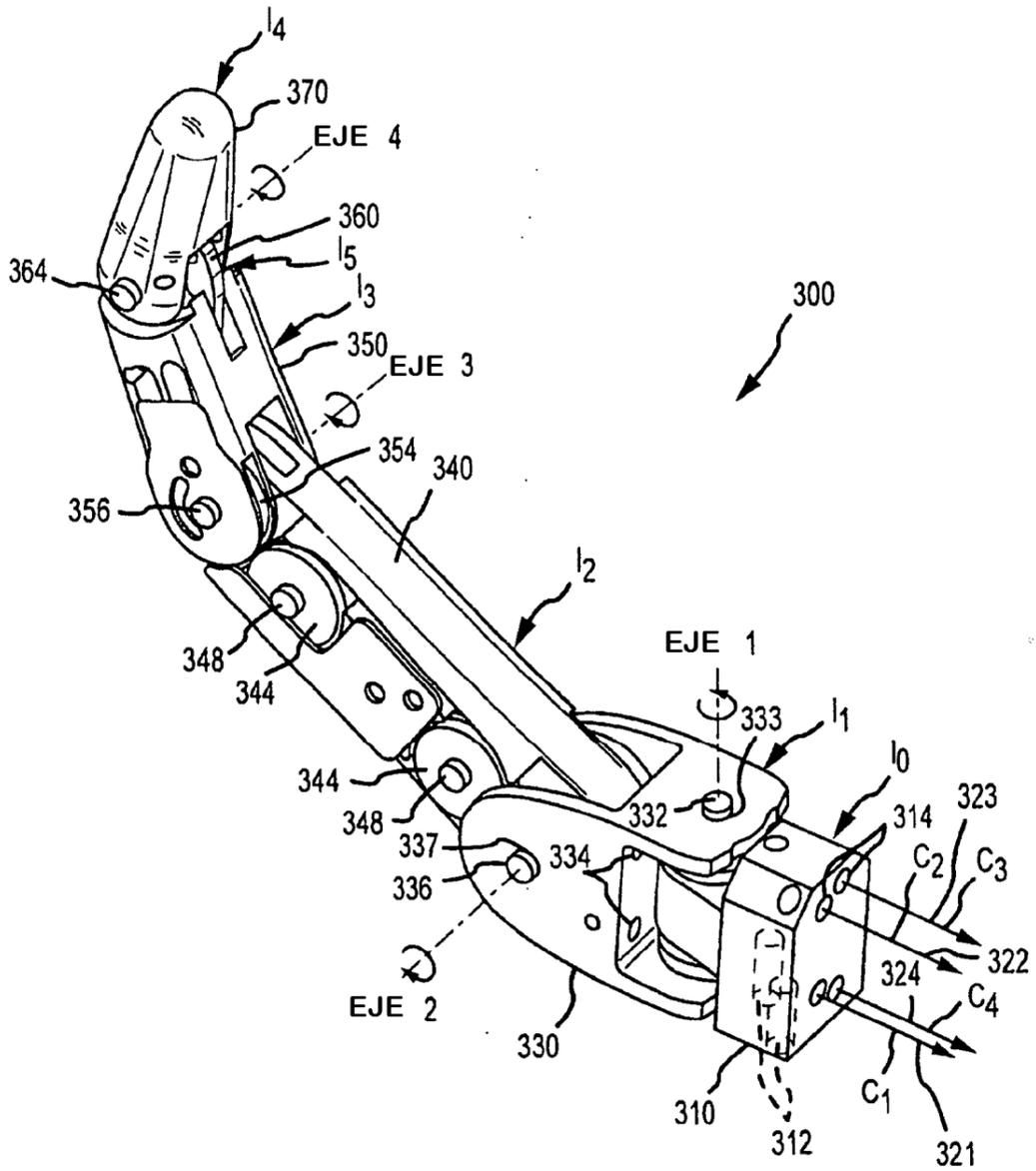


FIG.3

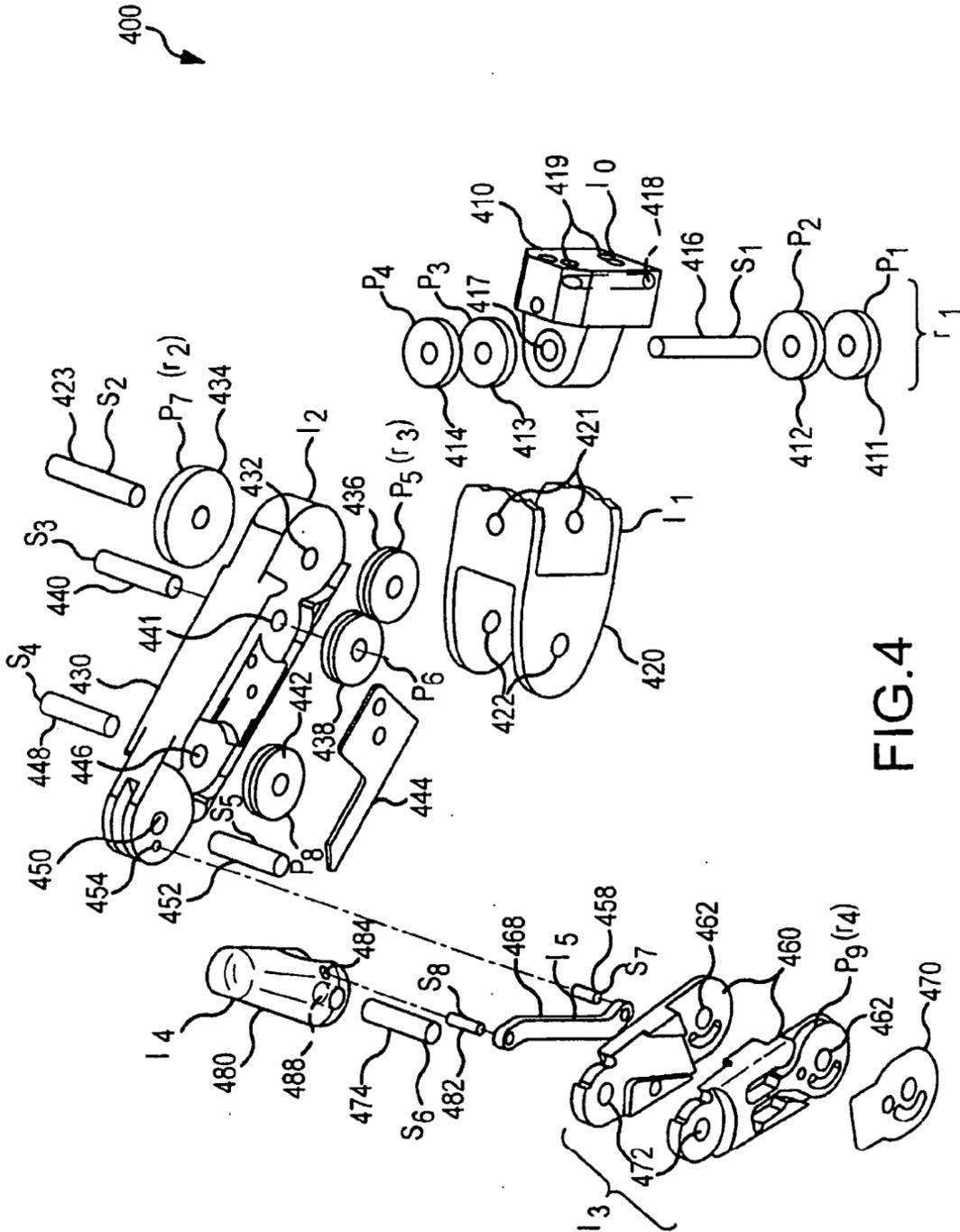


FIG. 4

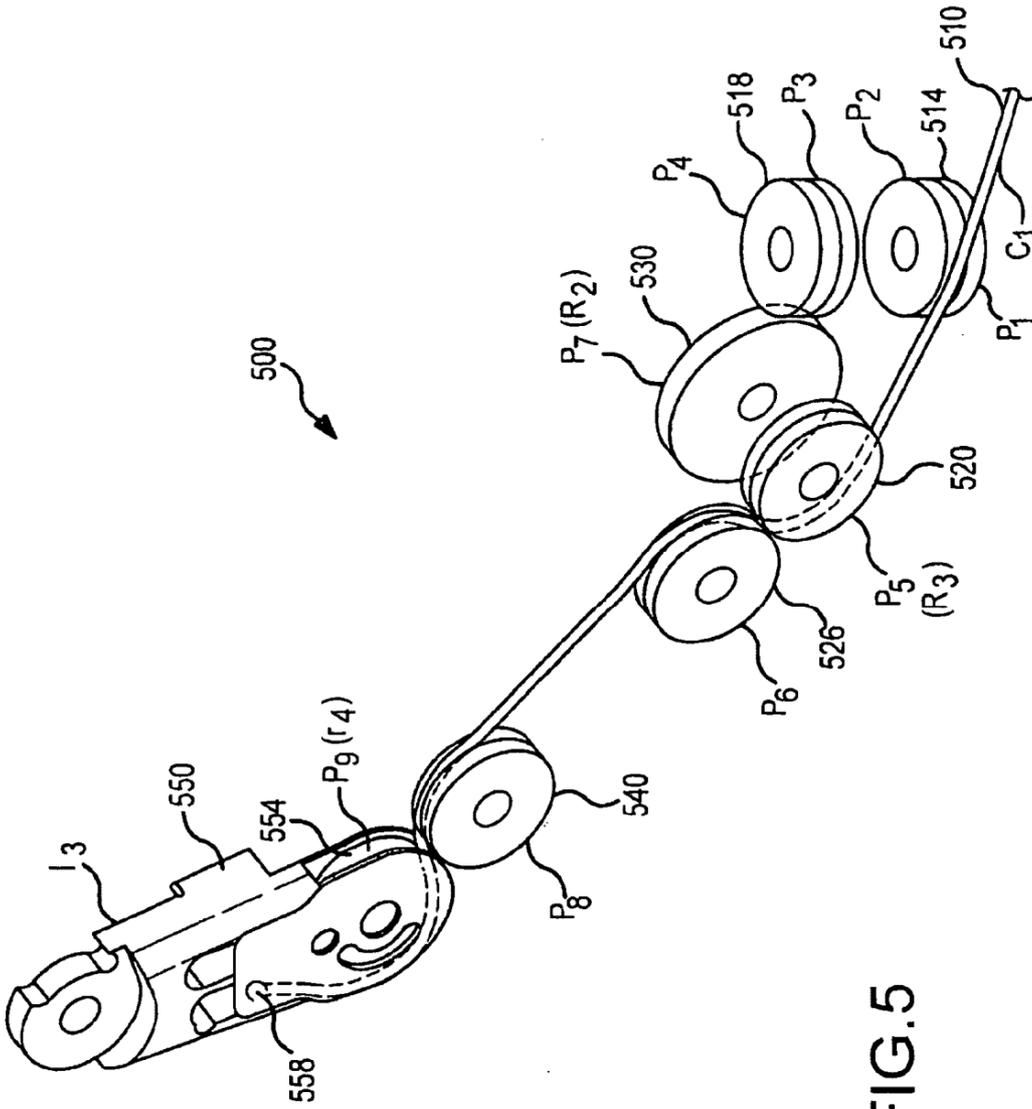


FIG. 5

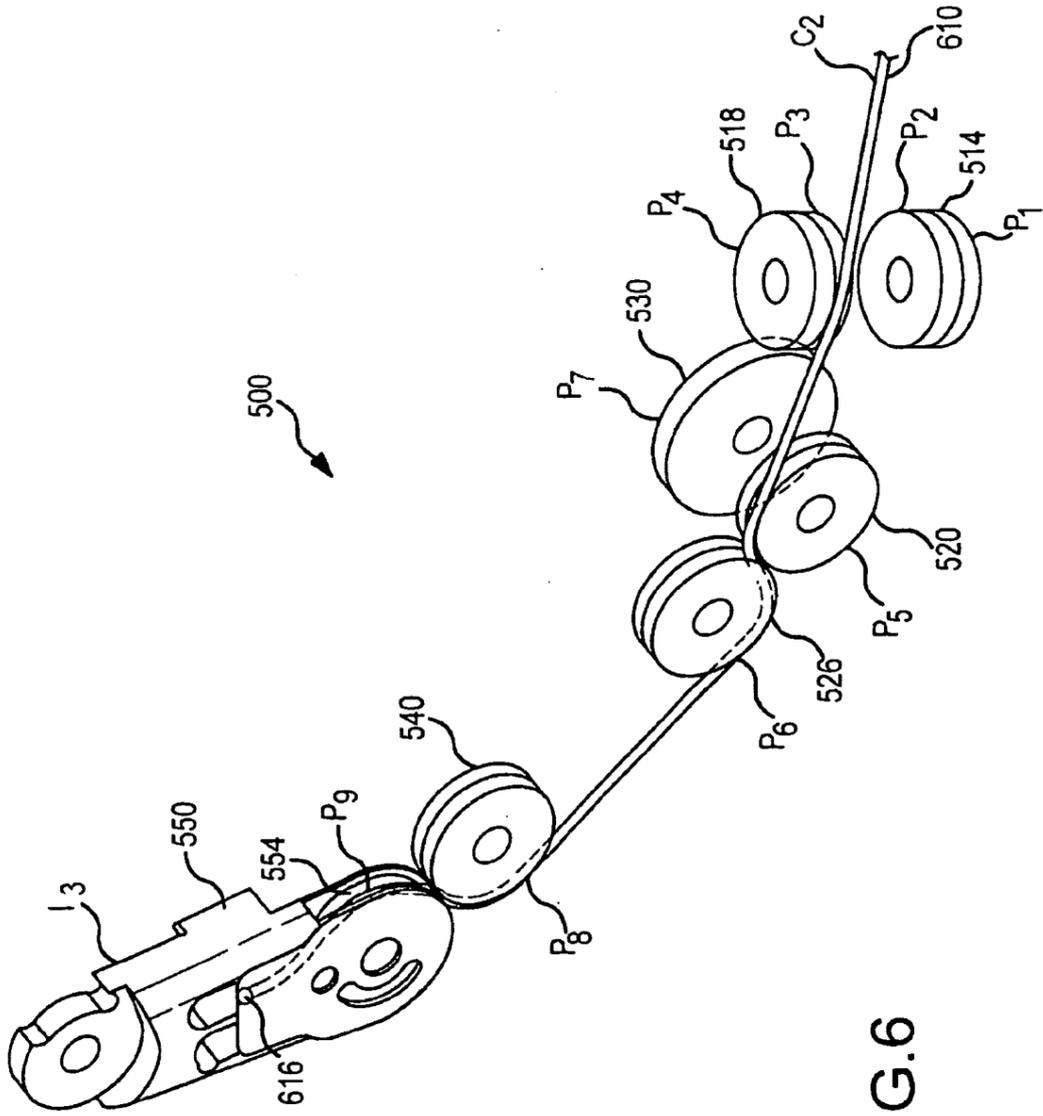


FIG.6

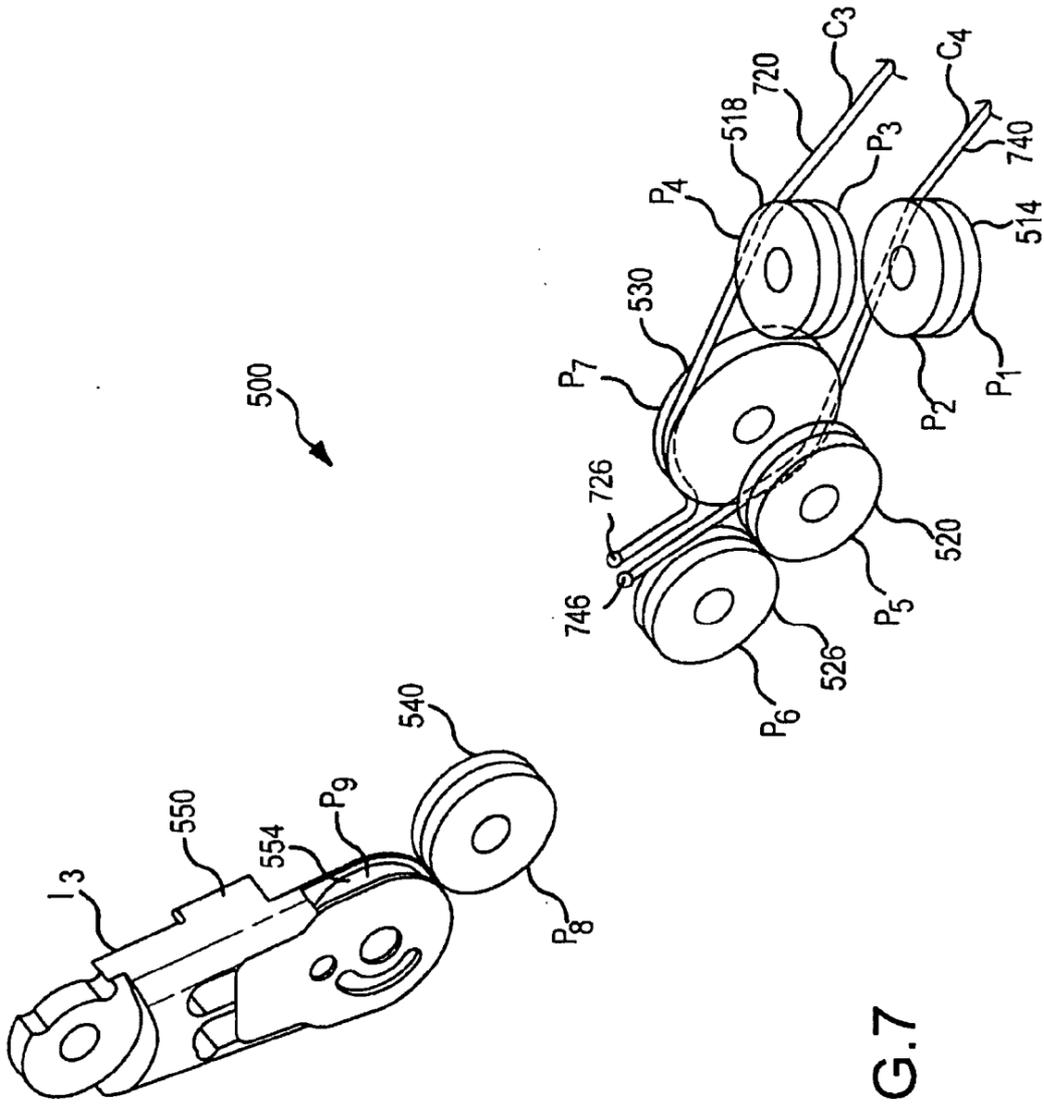


FIG.7

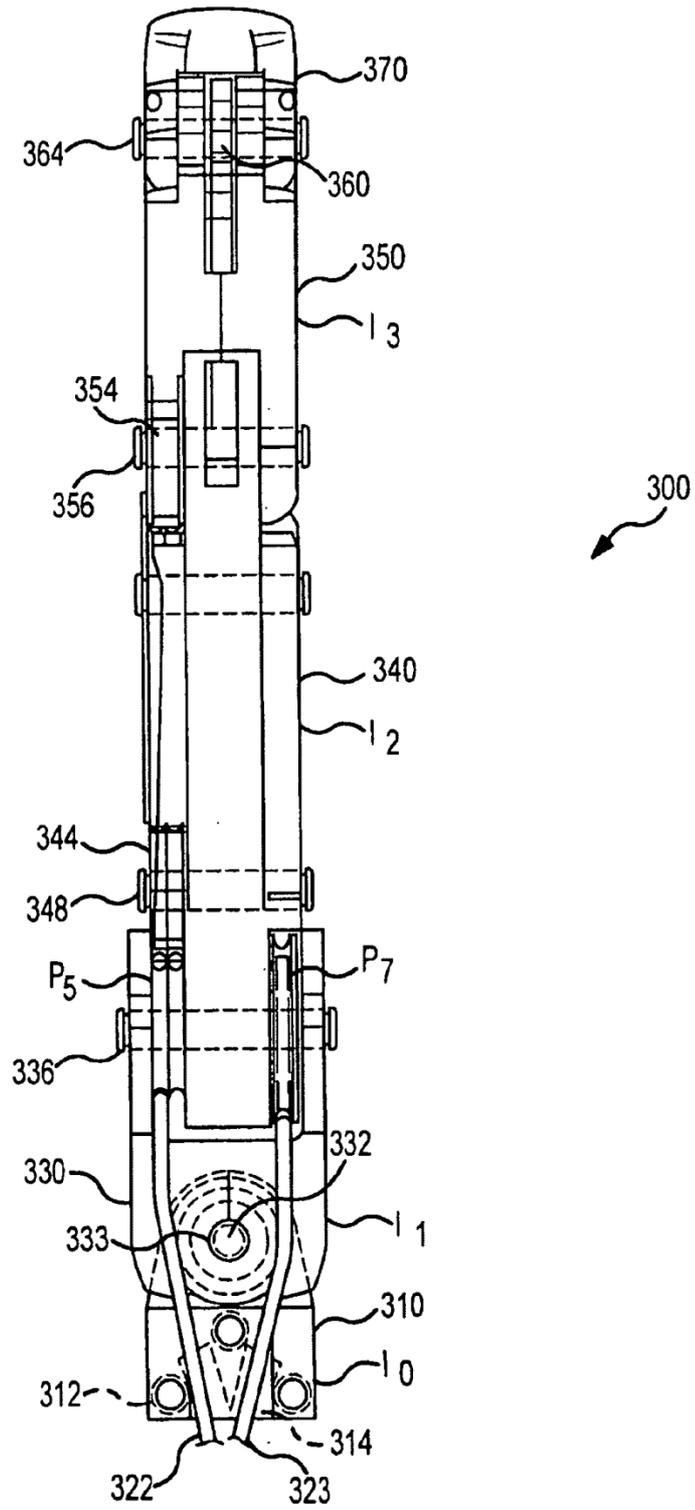
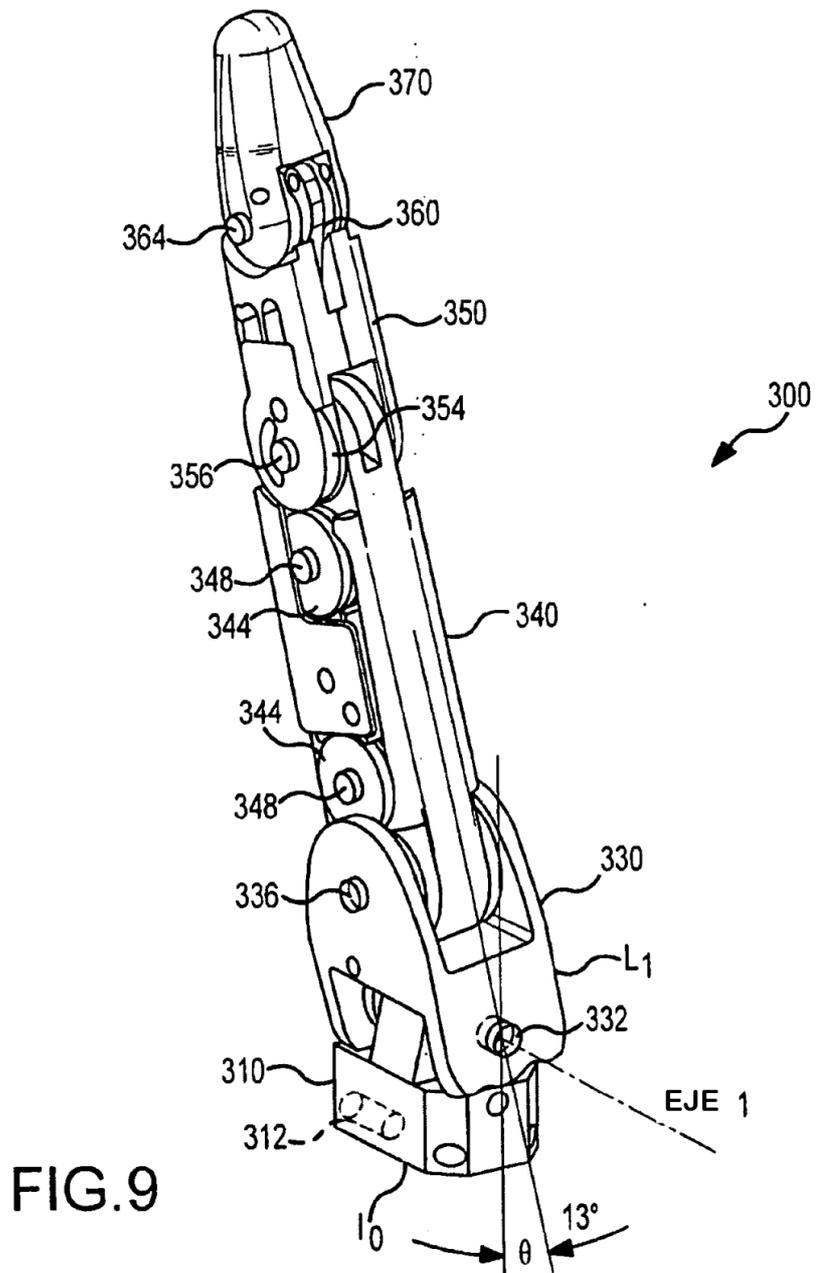


FIG. 8



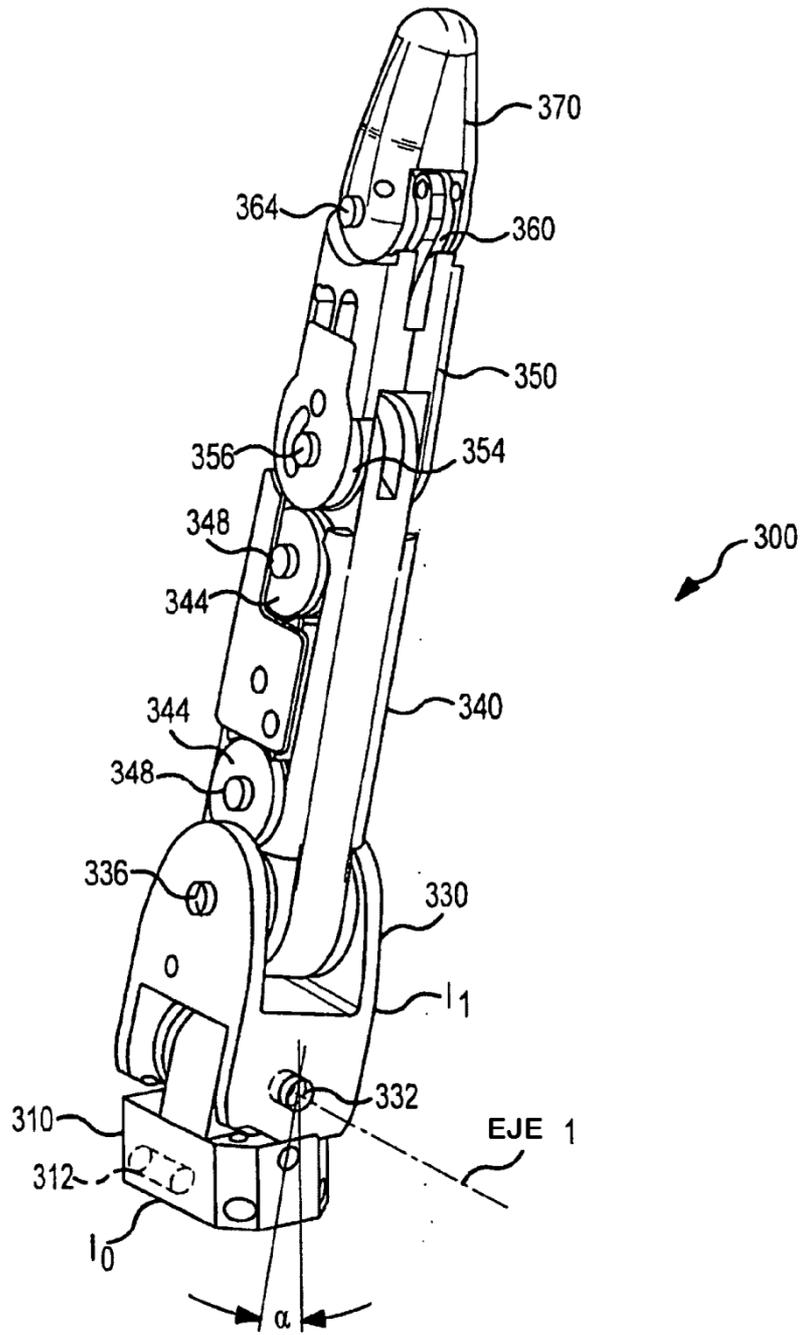


FIG. 10

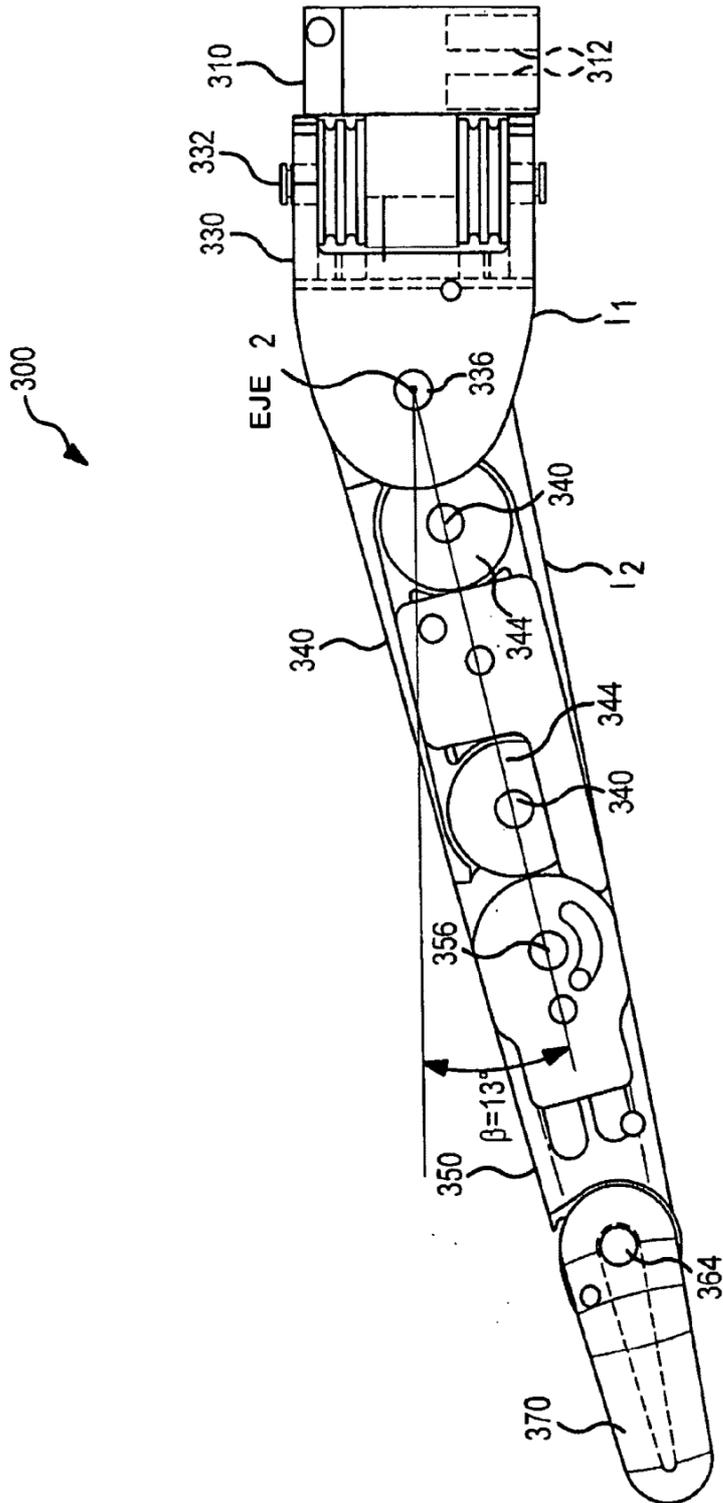


FIG.11

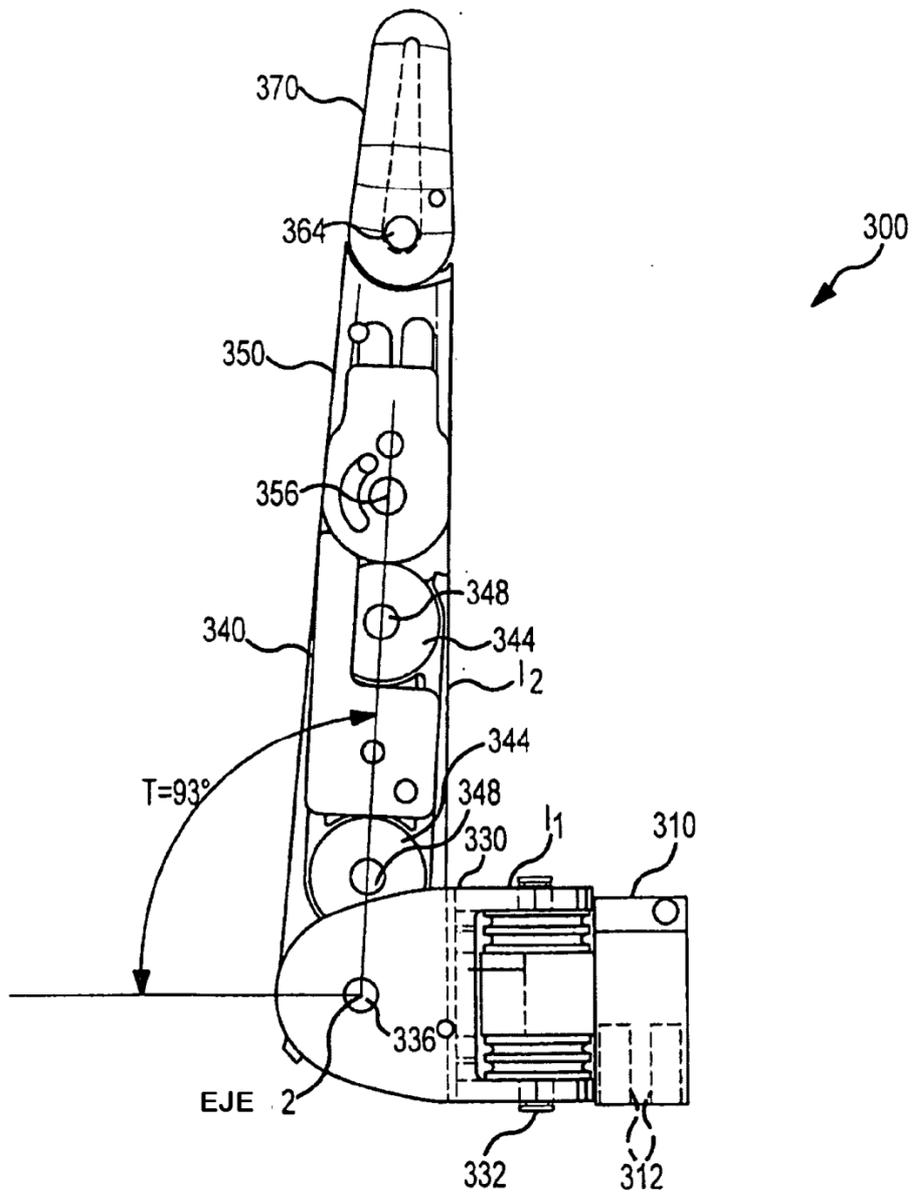


FIG.12

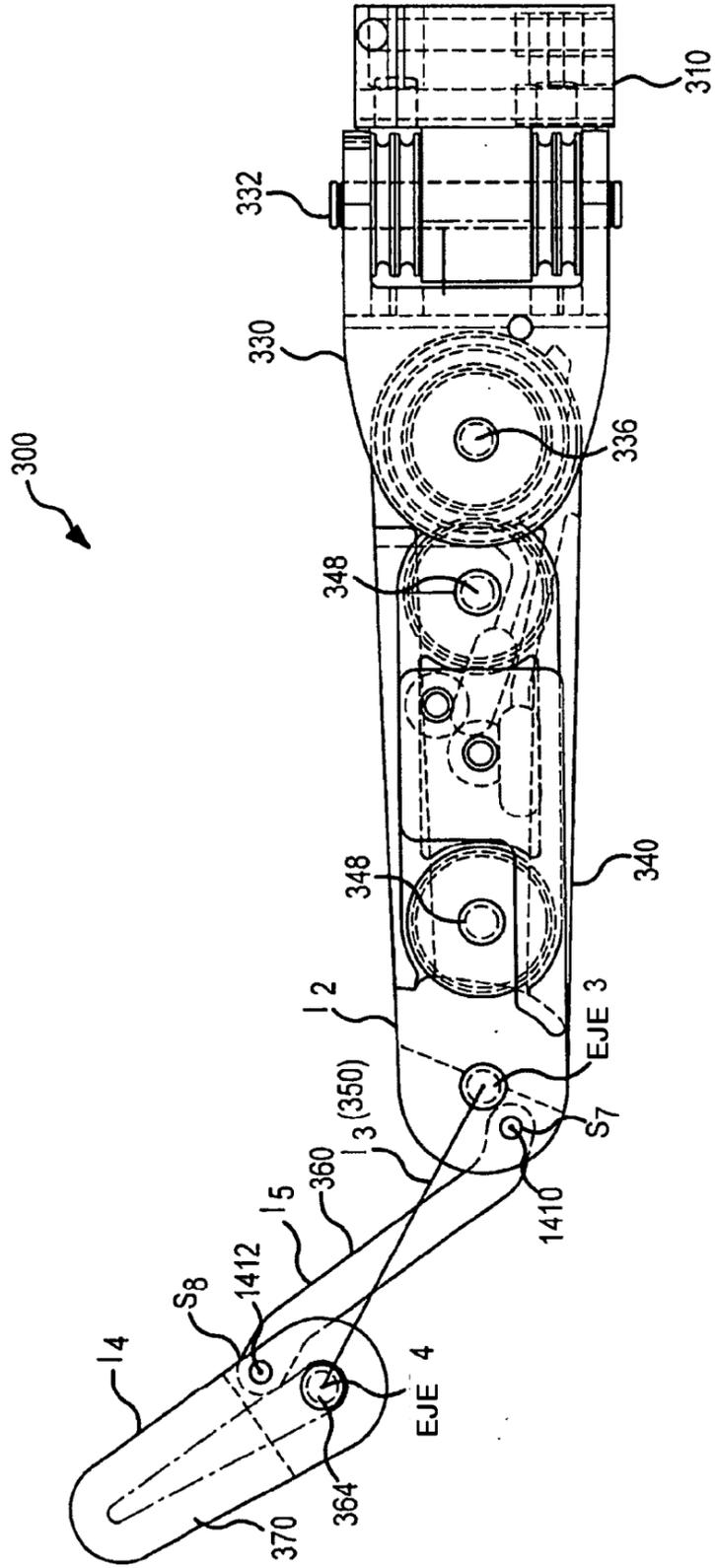


FIG.14

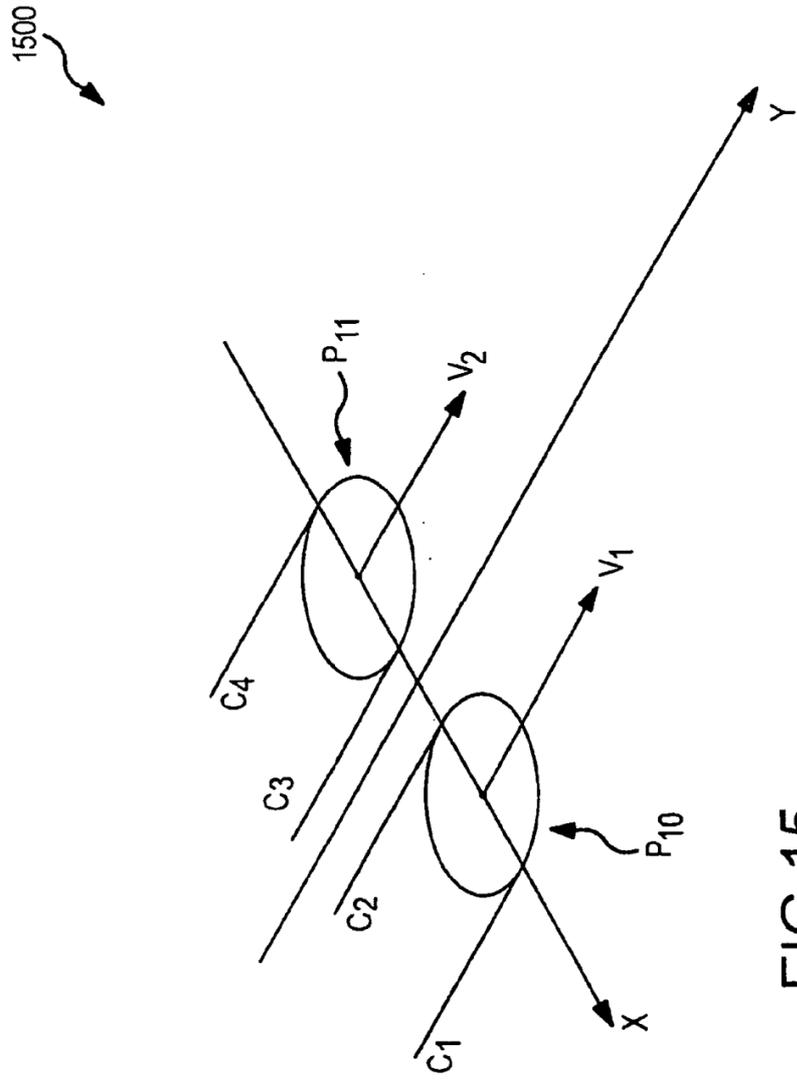


FIG.15

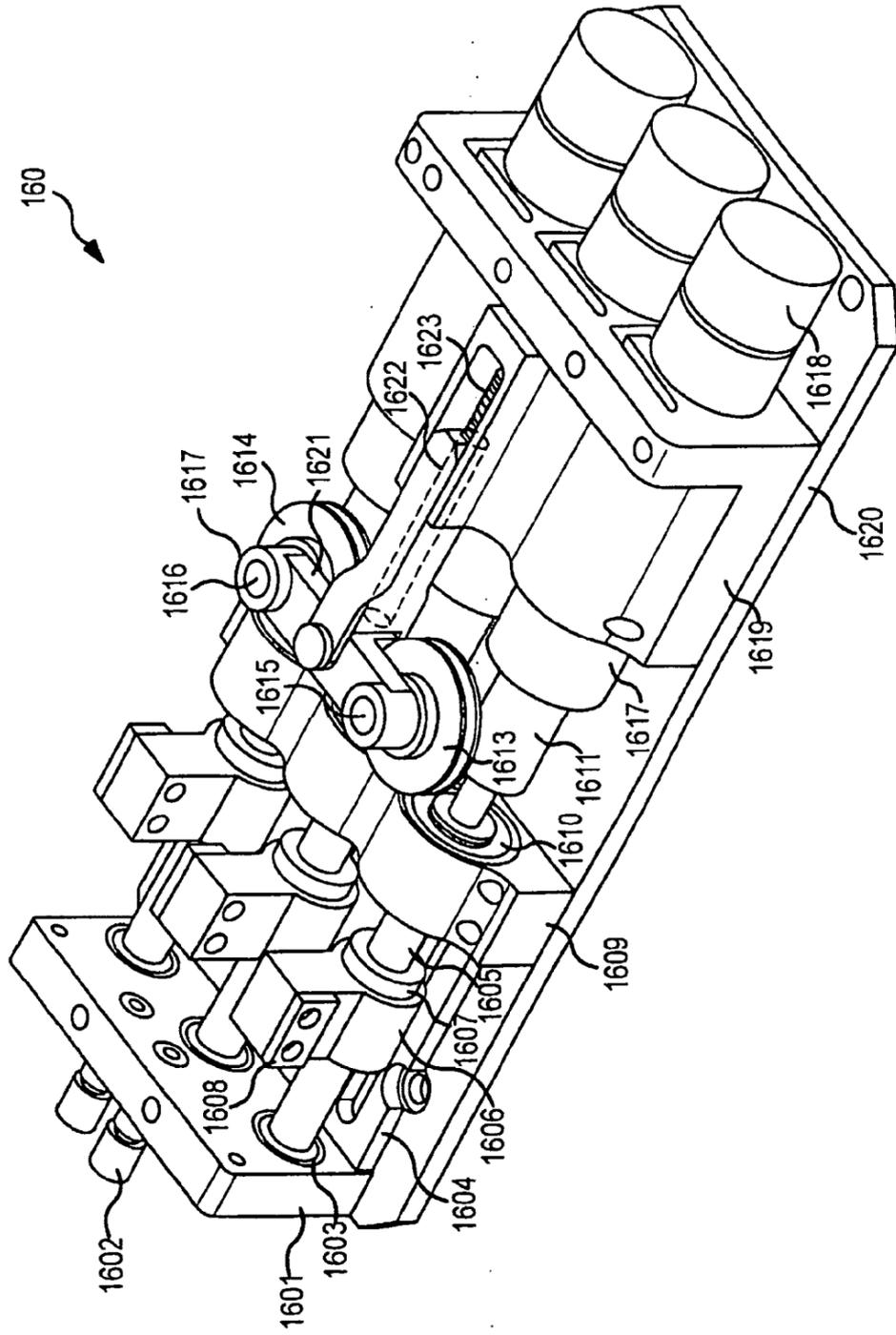


FIG.16

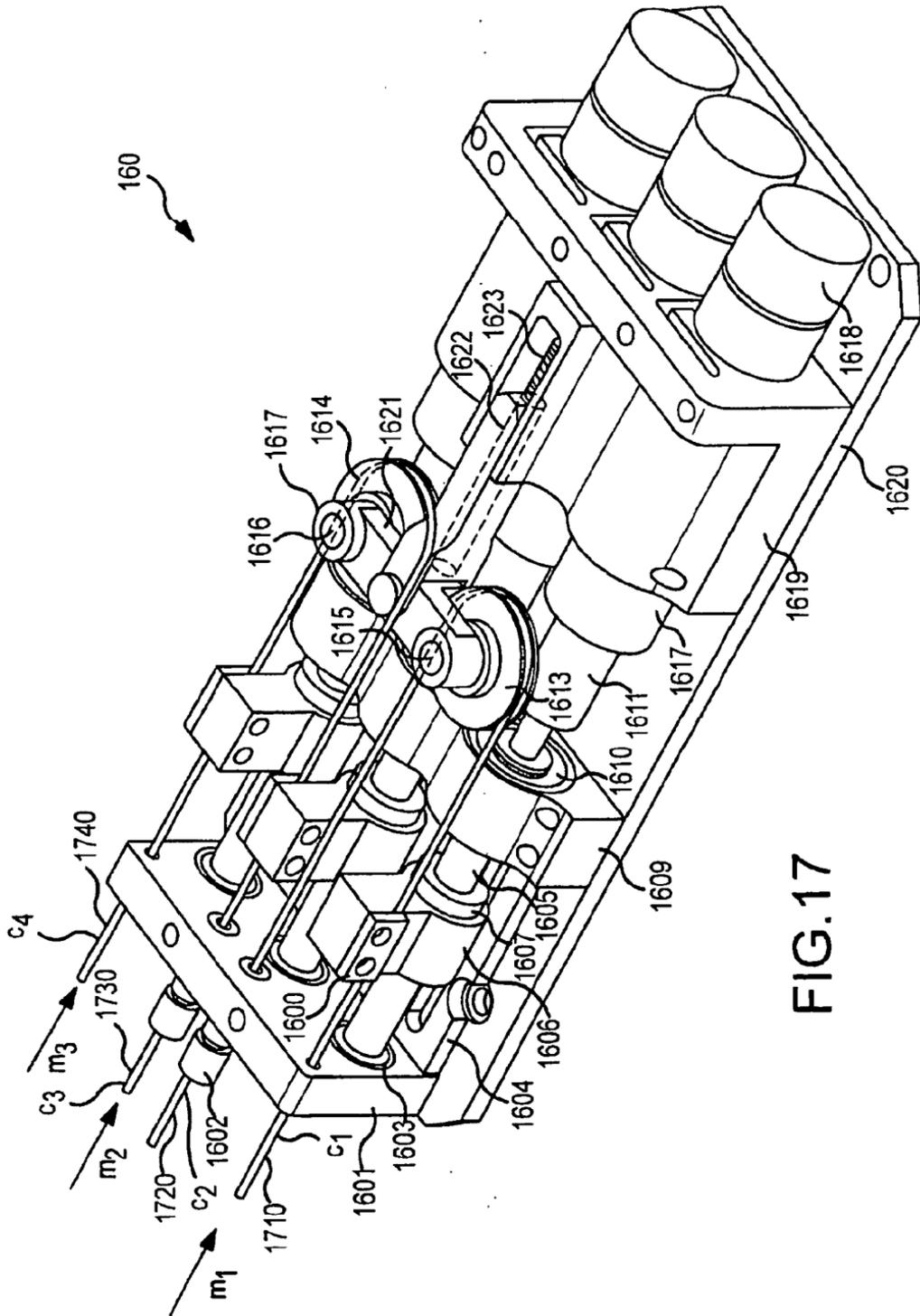


FIG. 17

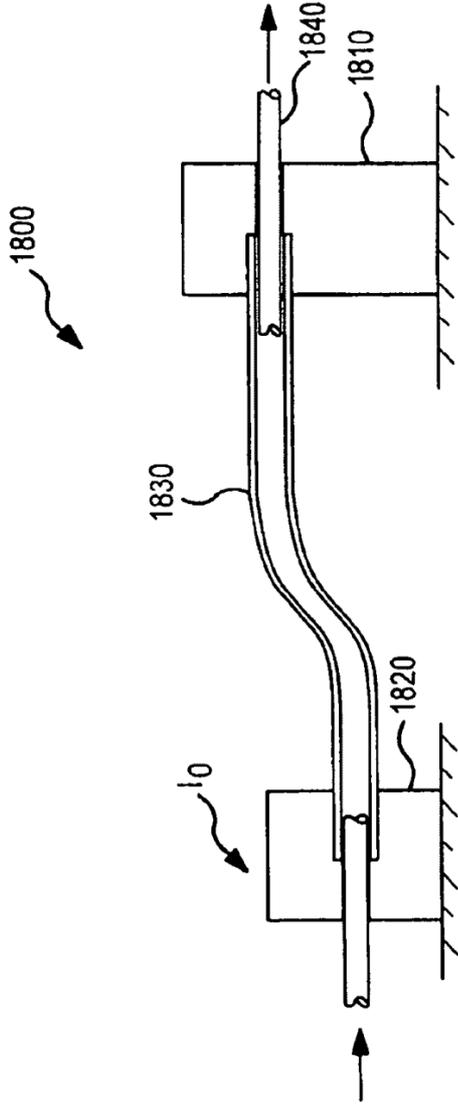


FIG. 18

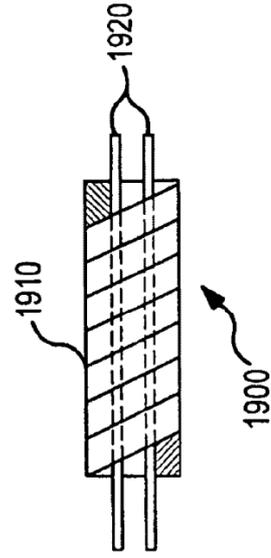


FIG. 19