



(10) **DE 20 2016 009 227 U1** 2025.03.06

(12) **Gebrauchsmusterschrift**

(21) Aktenzeichen: **20 2016 009 227.9**

(51) Int Cl.: **B25J 17/00 (2006.01)**

(22) Anmeldetag: **22.07.2016**

(67) aus Patentanmeldung: **EP 16 74 4496.7**

(47) Eintragungstag: **24.01.2025**

(45) Bekanntmachungstag im Patentblatt: **06.03.2025**

(30) Unionspriorität:

201512959 22.07.2015 GB

(74) Name und Wohnsitz des Vertreters:

**Westphal, Mussnug & Partner Patentanwälte mit
beschränkter Berufshaftung, 78048 Villingen-
Schwenningen, DE**

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:

CMR Surgical Limited, Cambridge, GB

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Antriebsmechanismen für Roboterarme**

(57) Hauptanspruch: Roboterarm, umfassend einen Gelenkmechanismus zum Artikulieren eines Gliedes des Arms relativ zu einem anderen Glied des Arms um zwei nicht parallele Drehachsen, wobei der Mechanismus umfasst:

einen Zwischenträger, der an einem ersten der Glieder durch ein erstes Drehgelenk mit einer ersten Drehachse und an einem zweiten der Glieder durch ein zweites Drehgelenk mit einer zweiten Drehachse befestigt ist;

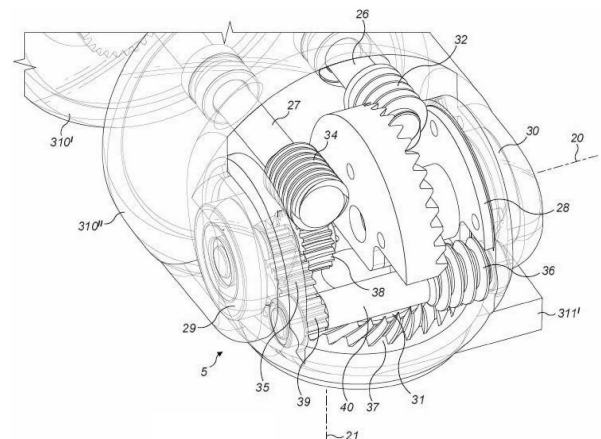
ein erstes Antriebszahnrad, das auf der ersten Drehachse angeordnet ist, wobei das erste Antriebszahnrad fest mit dem Träger verbunden ist;

ein zweites Antriebszahnrad, das um die zweite Drehachse angeordnet ist, wobei das zweite Antriebszahnrad fest mit dem zweiten der Glieder verbunden ist;

eine erste Antriebswelle zum Antreiben des ersten Antriebszahnrad zum Drehen um die erste Drehachse, wobei sich die erste Antriebswelle entlang des ersten der Glieder erstreckt und ein erstes Wellenzahnrad darauf aufweist, wobei das erste Wellenzahnrad zum Eingriff in das erste Antriebszahnrad angeordnet ist;

eine zweite Antriebswelle zum Antreiben des zweiten Antriebszahnrad zum Drehen um die zweite Drehachse, wobei sich die zweite Antriebswelle entlang des ersten der Glieder auf einer ersten Seite einer Ebene erstreckt, die die zweite Drehachse enthält, und sich durch diese Ebene zu der zweiten Seite dieser Ebene erstreckt; und

ein Zwischengestänge, das mit der zweiten Antriebswelle auf der zweiten Seite der Ebene in Eingriff steht und das zweite Wellenzahnrad mit dem zweiten Antriebszahnrad koppelt.



Beschreibung**HINTERGRUND**

[0001] Diese Erfindung bezieht sich auf Antriebsanordnungen für Roboter Gelenke, mit besonderer Relevanz für Roboterhandgelenke.

[0002] Roboter, die zur Handhabung von Objekten benötigt werden, wie beispielsweise Industrie- oder chirurgische Roboter, verfügen häufig über einen Arm, der aus starren Elementen besteht, die durch eine Anzahl flexibler Gelenke in Reihe miteinander verbunden sind. Die Gelenke können von beliebiger Art sein, sind jedoch üblicherweise Drehgelenke oder eine Kombination aus Dreh- und Schubgelenk. Der Arm erstreckt sich von einer Basis, deren Position fest oder beweglich sein kann, und endet in einem Werkzeug oder einem Aufsatz für ein Werkzeug. Das Werkzeug könnte beispielsweise ein Greif-, Schneid-, Beleuchtungs-, Bestrahlungs- oder Bildgebungswerkzeug sein. Das letzte Gelenk in dem Arm kann als Handgelenk bezeichnet werden. Das Handgelenk kann eine Bewegung um nur eine einzelne Achse ermöglichen oder es kann eine komplexe oder zusammengesetzte Artikulation sein, die eine Drehung um mehrere Achsen ermöglicht. Wie in unserer gleichzeitig anhängigen Patentanmeldung PCT/GB2014/053523 offenbart, kann das Handgelenk zwei Rollgelenke bereitstellen, deren Achsen im Allgemeinen in Längsrichtung zu dem Arm verlaufen und durch zwei Nick-/Giergelenke getrennt sind, deren Achsen im Allgemeinen quer zu dem Arm verlaufen.

[0003] Bei einem chirurgischen Roboter gibt es eine Reihe wichtiger Kriterien, die die Gestaltung des/der distalen Gelenks/Gelenke des Arms beeinflussen.

1. Es ist wünschenswert, dass der Arm, insbesondere sein distaler Abschnitt, in dem das Handgelenk angeordnet ist, klein ist. Dadurch können mehrere solcher Roboterarme in unmittelbarer Nähe arbeiten und es wird ein größeres Spektrum an chirurgischen Eingriffen ermöglicht, die der Arm durchführen kann.

2. Es ist wünschenswert, dass das äußere Profil des distalen Abschnitts des Arms über die Länge des Arms kreissymmetrisch ist. Dies ermöglicht das Drehen des distalen Abschnitts in Längsrichtung ohne Neupositionierung, wenn er sich in der Nähe eines anderen Roboters, einer anderen Ausrüstung oder des Patienten befindet.

3. Es ist wünschenswert, dass die Gelenke ein hohes Drehmoment übertragen können, sodass sie schwerere Werkzeuge tragen und eine hohe Beschleunigung an die Werkzeugspitze abgeben können.

4. Es ist wünschenswert, dass die Gelenke steif sind und wenig oder keine Spielfreiheit oder Elastizität aufweisen, sodass die Position einer Werkzeugspitze fixiert wird, sobald sie positioniert wurde. Ein herkömmlicher Ansatz zur Minimierung von Spiel ist die Bestimmung eines oder mehrerer Getriebeelemente als Opferelement, jedoch erfordert dies einen hohen Wartungsaufwand und kann dazu führen, dass verschlissene Getriebepartikel in dem Arm freigesetzt werden.

5. Es ist wünschenswert, dass alle Artikulationen über Positions- und Kraft-/Drehmomentsensoren verfügen, sodass der Steuermechanismus Daten von diesen Sensoren erfassen kann.

6. Es ist wünschenswert, dass der distale Abschnitt des Roboterarms so leicht wie möglich ist, um die Kraft zu reduzieren, die von den proximaleren Gelenken des Roboterarms aufgebracht werden muss.

7. Ein üblicher Roboterarm trägt Kabel, die Strom an seine Antriebsmotoren und möglicherweise an ein Werkzeug bereitstellen und Signale von Sensoren wie Positions-, Drehmoment- und Bildsensoren zurückführen. Es ist wünschenswert, dass der Arm einen Pfad für solche Kabel enthält, die im Inneren des Arms verlaufen.

8. Es ist wünschenswert, dass es ein Verfahren zur Kühlung der Motoren gibt, die die distalen Gelenke des Roboterarms und die Nutzlast oder das Werkzeugs antreiben.

[0004] Die Anzahl wichtiger Kriterien macht es schwierig, einen Arm zu entwerfen, der alle Anforderungen optimal erfüllt.

[0005] Ein besonderes Problem besteht darin, die Motoren und das Getriebe in das Handgelenk eines Roboterarms einzupassen. Die Anordnung sollte kompakt sein, jedoch auch eine hohe Steifigkeit und Drehmomentübertragung ermöglichen. Viele bestehende Konstruktionen kompromittieren eines dieser Kriterien.

[0006] Es besteht Bedarf an einer verbesserten Antriebsanordnung für ein Gelenk eines Roboterarms.

KURZDARSTELLUNG

[0007] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Roboterarm vorgesehen, umfassend einen Gelenkmechanismus zum Artikulieren eines Gliedes des Arms relativ zu einem anderen Glied des Arms um zwei nicht parallele Drehachsen, wobei der Mechanismus umfasst: einen Zwischenträger, der an einem ersten der Glieder durch ein erstes Drehgelenk mit

einer ersten Drehachse und an einem zweiten der Glieder durch ein zweites Drehgelenk mit einer zweiten Drehachse befestigt ist; ein erstes Antriebszahnrad, das um die erste Drehachse angeordnet ist, wobei das erste Antriebszahnrad fest mit dem Träger verbunden ist; ein zweites Antriebszahnrad, das um die zweite Drehachse angeordnet ist, wobei das zweite Antriebszahnrad fest mit dem zweiten der Glieder verbunden ist; eine erste Antriebswelle zum Antreiben des ersten Antriebszahnrad zum Drehen um die erste Drehachse, wobei sich die erste Antriebswelle entlang des ersten der Glieder erstreckt und ein erstes Wellenzahnrad darauf aufweist, wobei das erste Wellenzahnrad zum Eingriff mit dem ersten Antriebszahnrad angeordnet ist; eine zweite Antriebswelle zum Antreiben des zweiten Antriebszahnrad zum Drehen um die zweite Drehachse, wobei sich die zweite Antriebswelle entlang des ersten der Glieder erstreckt und ein zweites Wellenzahnrad darauf aufweist; und ein Zwischenzahnradgetriebe, das von dem Träger getragen wird und das zweite Wellenzahnrad mit dem zweiten Antriebszahnrad koppelt.

[0008] Das Zwischenzahnradgetriebe kann ein erstes Zwischenzahnrad umfassen, das um die erste Drehachse angeordnet ist, wobei das erste Zwischenzahnrad für den Eingriff mit dem zweiten Wellenzahnrad angeordnet ist. Das erste Zwischenzahnrad kann um die erste Drehachse drehbar sein.

[0009] Der Roboterarm kann ferner eine Steuereinheit umfassen, die angeordnet ist, um auf Befehlssignale zu reagieren, die die Bewegung des Roboterarms durch Antreiben der ersten und zweiten Antriebswelle zum Drehen befehlen. Die Steuereinheit kann derart ausgebildet sein, dass, wenn der Roboterarm zur Artikulation um die erste Achse ohne Artikulation um die zweite Achse angewiesen wird, die erste Welle zum Drehen angetrieben wird, um eine Artikulation um die erste Achse zu bewirken, und auch die zweite Welle zum Drehen angetrieben wird, um eine parasitäre Artikulation um die zweite Achse zu verhindern. Die Steuereinheit kann zum automatischen Ausführen dieser Aktion ausgebildet sein.

[0010] Das Zwischenzahnradgetriebe kann eine Vielzahl von miteinander verbundenen Zahnradern umfassen, die zum Drehen um Achsen parallel zu der ersten Drehachse angeordnet sind.

[0011] Das Zwischenzahnradgetriebe kann eine Zwischenwelle umfassen, die zum Drehen um eine Achse parallel zu der ersten Drehachse angeordnet ist. Die Zwischenwelle kann ein drittes Wellenzahnrad daran aufweisen, wobei das dritte Wellenzahnrad für den Eingriff mit dem zweiten Antriebszahnrad angeordnet ist.

[0012] Die miteinander verbundenen Zahnräder liegen auf einer Seite einer Ebene senkrecht zu der ersten Achse und enthalten die Zähne des ersten Antriebszahnrad, und zumindest ein Teil des dritten Wellenzahnrad liegt auf der anderen Seite dieser Ebene.

[0013] Das dritte Wellenzahnrad kann ein Schneckenrad sein: d. h. ein Zahnrad, dessen Zahn-/Zähne einer spiralförmigen Bahn folgen. Eines oder beide der ersten und zweiten Wellenzahnrad können Schneckenrad sein.

[0014] Bei einem oder beiden der ersten Antriebszahnrad kann es sich um Kegelschneckenrad handeln: d. h. um Zahnrad, deren Walzfläche ein geradliniger oder gekrümmter Kegel ist und/oder deren Zähne auf einem solchen Kegel angeordnet sind. Die Zahnlinien können gerade oder gekrümmt sein. Bei einem oder beiden der ersten Antriebszahnrad kann es sich um Schrägachsenzahnrad handeln.

[0015] Das erste Antriebszahnrad kann ein teilkreisförmiges Zahnrad sein. Zumindest ein Teil des zweiten Antriebszahnrad kann einen Kreis um die erste Achse schneiden, der mit dem radial äußersten Teil des ersten Antriebszahnrad deckungsgleich ist. Zumindest ein Teil der Zwischenwelle kann einen Kreis um die erste Achse schneiden, der mit dem radial äußersten Teil des ersten Antriebszahnrad deckungsgleich ist.

[0016] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Roboterarm vorgesehen, umfassend einen Gelenkmechanismus zum Artikulieren eines Gliedes des Arms relativ zu einem anderen Glied des Arms um zwei nicht parallele Drehachsen, wobei der Mechanismus umfasst: einen Zwischenträger, der an einem ersten der Glieder durch ein erstes Drehgelenk mit einer ersten Drehachse und an einem zweiten der Glieder durch ein zweites Drehgelenk mit einer zweiten Drehachse befestigt ist; ein erstes Antriebszahnrad, das um die erste Drehachse angeordnet ist, wobei das erste Antriebszahnrad fest mit dem Träger verbunden ist; ein zweites Antriebszahnrad, das um die zweite Drehachse angeordnet ist, wobei das zweite Antriebszahnrad fest mit dem zweiten der Glieder verbunden ist; eine erste Antriebswelle zum Antreiben des ersten Antriebszahnrad zum Drehen um die erste Drehachse, wobei sich die erste Antriebswelle entlang des ersten der Glieder erstreckt und ein erstes Wellenzahnrad darauf aufweist, wobei das erste Wellenzahnrad zum Eingriff in das erste Antriebszahnrad angeordnet ist; eine zweite Antriebswelle zum Antreiben des zweiten Antriebszahnrad zum Drehen um die zweite Drehachse, wobei sich die zweite Antriebswelle entlang des ersten der Glieder auf einer ersten Seite einer Ebene erstreckt, die die zweite Drehachse enthält, und

sich durch diese Ebene zu der zweiten Seite dieser Ebene erstreckt; und ein Zwischengestänge, das mit der zweiten Antriebswelle auf der zweiten Seite der Ebene ineinandergreift und das zweite Wellenzahnrad mit dem zweiten Antriebszahnrad koppelt.

[0017] Die zweite Welle kann ein flexibles Element umfassen. Das flexible Element ist auf der ersten Drehachse angeordnet. Das flexible Element kann ein Kreuzgelenk sein.

[0018] Die zweite Welle ist mit dem Träger durch ein Drehgelenk an der zweiten Seite dieser Ebene gekoppelt.

[0019] Die zweite Antriebswelle kann ein zweites Wellenzahnrad an der zweiten Seite dieser Ebene aufweisen. Das Zwischengestänge kann eine Zwischenwelle mit einem ersten Zwischenzahnrad, das mit dem zweiten Wellenzahnrad ineinandergreift, und einem zweiten Zwischenzahnrad, das mit dem zweiten Antriebszahnrad ineinandergreift, umfassen.

[0020] Die zweite Antriebswelle kann zum Drehen um eine Achse senkrecht zu der zweiten Drehachse angeordnet sein.

[0021] Das zweite Zwischenzahnrad kann ein Schneckenzahnrad sein. Das erste Wellenzahnrad kann ein Schneckenzahnrad sein.

[0022] Bei einem oder beiden der ersten Antriebszahnräder kann es sich um Kegelzahnräder handeln. Bei einem oder beiden der ersten Antriebszahnräder kann es sich um Schrägachsenzahnäder handeln.

[0023] Das erste Antriebszahnrad kann ein teilkreisförmiges Zahnrad sein. Zumindest ein Teil des zweiten Antriebszahnrad kann einen Kreis um die erste Achse schneiden, der mit dem radial äußersten Teil des ersten Antriebszahnrad deckungsgleich ist.

[0024] Gemäß einem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Roboterarm vorgesehen, umfassend einen Gelenkmechanismus zum Artikulieren eines Gliedes des Arms relativ zu einem anderen Glied des Arms um zwei nicht parallele Drehachsen, wobei der Mechanismus umfasst: einen Zwischenträger, der an einem ersten der Glieder durch ein erstes Drehgelenk mit einer ersten Drehachse und an einem zweiten der Glieder durch ein zweites Drehgelenk mit einer zweiten Drehachse befestigt ist; ein erstes Antriebszahnrad, das um die erste Drehachse angeordnet ist, wobei das erste Antriebszahnrad fest mit dem Träger verbunden ist; ein zweites Antriebszahnrad, das um die zweite Drehachse angeordnet ist, wobei das zweite Antriebszahnrad fest mit dem zweiten der Glieder verbunden ist; eine erste Antriebswelle zum Antreiben des ersten Antriebszahnrad zum Drehen um

die erste Drehachse, wobei sich die erste Antriebswelle entlang des ersten der Glieder erstreckt und ein erstes Wellenzahnrad darauf aufweist, wobei das erste Wellenzahnrad zum Eingriff in das erste Antriebszahnrad angeordnet ist; eine zweite Antriebswelle zum Antreiben des zweiten Antriebszahnrad zum Drehen um die zweite Drehachse, wobei sich die zweite Antriebswelle entlang des ersten der Glieder erstreckt und ein zweites Wellenzahnrad daran aufweist, wobei das zweite Wellenzahnrad zum Eingriff in das zweite Antriebszahnrad angeordnet ist; wobei die zweite Antriebswelle ein Schubgelenk umfasst, wodurch die Länge der Welle in Reaktion auf die Bewegung des Trägers um die erste Achse variieren kann.

[0025] Das Schubgelenk kann eine Gleitverzahnungskopplung sein.

[0026] Die zweite Antriebswelle kann ein erstes flexibles Gelenk an einer Seite des Schubgelenks und ein zweites flexibles Gelenk an der anderen Seite des Schubgelenks umfassen.

[0027] Die zweite Antriebswelle kann durch ein Drehgelenk mit dem Träger an der dem Schubgelenk gegenüberliegenden Seite des zweiten flexiblen Gelenks verbunden sein.

[0028] Eines oder beide der ersten und zweiten Wellenzahnäder können Schneckenzahnäder sein.

[0029] Bei einem oder beiden der ersten Antriebszahnäder kann es sich um Kegelzahnäder handeln. Bei einem oder beiden der ersten Antriebszahnäder kann es sich um Schrägachsenzahnäder handeln. Das erste Antriebszahnrad kann ein teilkreisförmiges Zahnrad sein.

[0030] Zumindest ein Teil des zweiten Antriebszahnrad kann einen Kreis um die erste Achse schneiden, der mit dem radial äußersten Teil des ersten Antriebszahnrad deckungsgleich ist.

[0031] Die erste und die zweite Achse können orthogonal sein. Die erste und zweite Achse können einander schneiden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0032] Die vorliegende Erfindung wird nun anhand von Beispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben.

[0033] In den Zeichnungen:

Fig. 1 ist eine allgemeine Darstellung eines chirurgischen Roboterarms.

Fig. 2 stellt die Drehachsen an dem Handgelenk des Arms aus **Fig. 1** ausführlicher dar.

Fig. 3 stellt einen Teil eines ersten Handgelenkmechanismus von distal und einer Seite dar.

Fig. 4 stellt einen Teil des ersten Handgelenkmechanismus von distal und der anderen Seite dar.

Fig. 5 stellt einen Teil eines zweiten Handgelenkmechanismus von proximal und einer Seite dar.

Fig. 6 stellt einen Teil des zweiten Handgelenkmechanismus von distal und einer Seite dar.

Fig. 7 stellt einen dritten Handgelenkmechanismus von distal und einer Seite dar.

Fig. 8 stellt den dritten Handgelenkmechanismus von distal und der anderen Seite dar.

Fig. 9 stellt den dritten Handgelenkmechanismus im Schnitt auf einer Längsmittlebene von einer Seite betrachtet dar.

Fig. 10 stellt den dritten Handgelenkmechanismus im Schnitt auf einer Längsmittlebene von der anderen Seite betrachtet dar.

Fig. 11 veranschaulicht Kommunikationswege in einem Roboterarm.

Fig. 12 stellt ein Anschlussmodul für einen Roboterarm im Längsquerschnitt dar.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0034] Es hat sich gezeigt, dass die nachfolgend beschriebenen Handgelenkmechanismen kompakte und mechanisch vorteilhafte Anordnungen für zumindest einige der Gelenke eines Roboterhandgelenks oder für andere Anwendungen bereitstellen.

[0035] **Fig. 1** stellt einen chirurgischen Roboter mit einem sich von einer Basis 2 erstreckenden Arm 1 dar. Der Arm umfasst eine Anzahl von starren Gliedern 3. Die Glieder sind über Drehgelenke 4 gekoppelt. Das proximalste Glied 3a ist über das Gelenk 4a mit der Basis gekoppelt. Dieses und das andere Glied sind durch weitere der Gelenke 4 in Reihe gekoppelt. Ein Handgelenk 5 besteht aus vier einzelnen Drehgelenken. Das Handgelenk 5 koppelt ein Glied (3b) mit dem distalsten Glied (3c) des Arms. Das distalste Glied 3c trägt eine Befestigung 8 für ein chirurgisches Instrument oder Werkzeug 9. Jedes Gelenk 4 des Arms verfügt über einen oder mehrere Motoren 6, die zum Veranlassen einer Drehbewegung an dem jeweiligen Gelenk betrieben werden können, sowie über einen oder mehrere Positions- und/oder Drehmomentsensoren 7, die Informationen bezüglich der aktuellen Ausgestaltung und/oder Belastung an diesem Gelenk bereitstellen. Der Übersichtlichkeit halber sind in **Fig. 1** nur einige der Motoren und Sensoren dargestellt. Der Arm kann allgemein so sein, wie in unserer ebenfalls anhängigen Patentanmeldung PCT/GB2014/053523

beschrieben. Der Befestigungspunkt 8 für ein Werkzeug kann in geeigneter Weise eines oder mehrere der Folgenden umfassen: (i) eine Formgebung, die eine mechanische Befestigung eines Werkzeugs an dem Arm ermöglicht, (ii) eine Schnittstelle zum Übertragen von elektrischer und/oder optischer Leistung und/oder Daten zu und/oder von dem Werkzeug und (iii) einen mechanischen Antrieb zum Antreiben der Bewegung eines Teils eines Werkzeugs. Allgemein ist es bevorzugt, dass die Motoren proximal zu den Gelenken angeordnet sind, deren Bewegung sie zum Verbessern der Gewichtsverteilung antreiben. Wie nachstehend erläutert, sind die Steuerungen für die Motoren, Drehmomentsensoren und Kodierer mit dem Arm verteilt. Die Steuerungen sind über einen Kommunikationsbus mit der Steuereinheit 10 verbunden.

[0036] Die Steuereinheit 10 umfasst einen Prozessor 11 und einen Speicher 12. In dem Speicher 12 ist nichtflüchtig eine Software gespeichert, die von dem Prozessor zum Steuern des Betriebs der Motoren 6 ausgeführt werden kann, um den Betrieb des Arms 1 in der hierin beschriebenen Weise zu bewirken. Insbesondere kann die Software den Prozessor 11 zum Veranlassen der Motoren (z. B. über verteilte Steuerungen) zum Antreiben in Abhängigkeit von Eingaben von den Sensoren 7 und von einer Chirurgen-Befehlsschnittstelle 13 steuern. Die Steuereinheit 10 ist mit den Motoren 6 gekoppelt, um diese entsprechend der durch die Ausführung der Software erzeugten Ausgaben zu steuern. Die Steuereinheit 10 ist mit den Sensoren 7 zum Empfangen von erfassten Eingaben von den Sensoren und mit der Befehlsschnittstelle 13 zum Empfangen von Eingaben von dieser gekoppelt. Die jeweiligen Kopplungen können beispielsweise jeweils elektrische oder optische Kabel sein oder durch eine drahtlose Verbindung bereitgestellt werden. Die Befehlsschnittstelle 13 umfasst ein oder mehrere Eingabevorrichtungen, mit denen ein Benutzer die Bewegung des Arms in einer gewünschten Weise anfordern kann. Die Eingabevorrichtungen können beispielsweise manuell bedienbare mechanische Eingabevorrichtungen wie Steuergriffe oder Joysticks oder kontaktlose Eingabevorrichtungen wie optische Gestensensoren sein. Die in dem Speicher 12 gespeicherte Software ist zum Reagieren auf diese Eingaben und zum Veranlassen einer entsprechenden Bewegung der Gelenke des Arms gemäß einer vorbestimmten Steuerstrategie konfiguriert. Die Steuerstrategie kann Sicherheitsmerkmale umfassen, die die Bewegung des Arms in Reaktion auf Befehlseingaben abschwächen. Zusammenfassend kann somit ein Chirurg an der Befehlsschnittstelle 13 den Roboterarm 1 zum Bewegen in einer Weise steuern, um einen gewünschten chirurgischen Eingriff durchzuführen. Die Steuereinheit 10 und/oder die Befehlsschnittstelle 13 können von dem Arm 1 entfernt sein.

[0037] Fig. 2 stellt das Handgelenk 5 des Roboters ausführlicher dar. Das Handgelenk umfasst vier Drehgelenke 300, 301, 302, 303. Die Gelenke sind in Reihe angeordnet, wobei sich ein starrer Teil des Arms von jedem Gelenk zu dem nächsten erstreckt. Das proximalste Gelenk 300 des Handgelenks verbindet den Armteil 4b mit dem Armteil 310. Das Gelenk 300 weist eine „Roll“-Drehachse 304 auf, die im Allgemeinen entlang der Erstreckung des Gliedes 4b des Arms ausgerichtet ist, der sich unmittelbar proximal der Artikulationen des Handgelenks befindet. Das nächst distalste Gelenk 301 des Handgelenks verbindet den Armteil 310 mit dem Armteil 311. Das Gelenk 301 weist eine „Nick“-Drehachse 305 auf, die in allen Ausgestaltungen der Gelenke 300 und 301 senkrecht zu der Achse 304 verläuft. Das nächst distalste Gelenk 302 des Handgelenks verbindet den Armteil 310 mit dem Armteil 311. Das Gelenk 302 weist eine „Gier“-Drehachse 306 auf, die in allen Ausgestaltungen der Gelenke 301 und 302 senkrecht zu der Achse 305 verläuft. In einigen Ausgestaltungen des Handgelenks verläuft die Achse 306 ebenfalls senkrecht zu der Achse 304. Das nächst distalste Gelenk des Handgelenks 303 verbindet den Armteil 311 mit dem Armteil 4c. Das Gelenk 303 weist eine „Roll“-Drehachse 307 auf, die in allen Ausgestaltungen der Gelenke 302 und 303 senkrecht zu der Achse 306 verläuft. In einigen Ausgestaltungen des Handgelenks ist die Achse 307 ebenfalls senkrecht zu der Achse 305 und parallel (und bevorzugt kollinear) zu der Achse 304. Es ist bevorzugt, dass sich die Achsen 305 und 306 schneiden, da dies eine besonders kompakte Ausgestaltung ergibt. Die Gelenke 300 und 303 können derart positioniert sein, dass die Achsen 304 und 307 in einigen Ausgestaltungen des Handgelenks durch den Schnittpunkt der Achsen 305 und 306 verlaufen können.

[0038] Diese Gestaltung des Handgelenks hat den Vorteil, dass sie einen großen Bewegungsbereich eines an dem Befestigungspunkt 8 an dem distalen Ende des Armteils 4c befestigten Werkzeugs ermöglicht, wobei das Handgelenk jedoch in einer relativ kompakten Form montiert werden kann und ohne dass an bestimmten Teilen des Bewegungsbereichs Singularitäten auftreten, die zu hohe Bewegungsgeschwindigkeiten an einzelnen Gelenken erfordern könnten.

[0039] Die Fig. 3 und 4 stellen ein Beispiel für einen Mechanismus dar, der geeignet ist, einen Teil des Handgelenks 5 des Arms 1 von Fig. 1 zu realisieren. Die Fig. 3 und 4 konzentrieren sich (wie die Fig. 5 bis 10) auf den mit den in Fig. 2 bezeichneten Gelenken 301 und 302 verbundenen Mechanismus.

[0040] In dem Bereich des Handgelenks 5 weisen die starren Armteile 310, 311 hohle Außenschalen bzw. -gehäuse 310', 310'', 311' auf. Die Schalen bil-

den den größten Teil der Außenfläche des Arms und enthalten einen Hohlraum, der teilweise oder ganz von der Außenwand der jeweiligen Schale umgeben ist und in dem die Motoren, Sensoren, Kabel und andere Komponenten des Arms untergebracht werden können. Die Schalen können aus einem Metall, beispielsweise einer Aluminiumlegierung oder Stahl, oder aus einem Verbundwerkstoff, beispielsweise einem faserverstärkten Harzverbundwerkstoff wie kohlenstofffaserverstärktem Harz, hergestellt sein. Die Schalen bilden einen Teil der starren Struktur der Armteile, die zwischen den jeweiligen Gelenken befestigt ist. Die Schalen können ein strukturelles Gerüst enthalten, wie später in Bezug auf die Ausführungsform der Fig. 7 dargestellt.

[0041] In den Fig. 3 und 4 ist die Schale des Armteils 310 der Übersichtlichkeit halber in zwei Teilen dargestellt: 310' und 310'', die beide in Umrissen gezeichnet und auseinandergezogen sind. Die Schalen der Armteile 4b und 4c sowie der mit den Gelenken 300 und 303 verbundene Mechanismus sind ausgelassen. Die Schale des Armteils 311 ist teilweise dargestellt, wobei sich der größte Teil von dem Sporn 311' erstreckt.

[0042] Die Schale des Armteils 310 (bestehend aus den Schalenteilen 310' und 310'') und die Schale des Armteils 311 (die sich von dem Sporn 311' aus erstreckt) sind in Bezug zueinander um zwei bei 20 und 21 dargestellte Drehachsen beweglich. Diese entsprechen den Achsen 305, 306 von Fig. 2. Die Achsen 20 und 21 sind orthogonal. Die Achsen 20 und 21 schneiden sich. An dem Armteil 310 ist über Lager 29, 30 eine Mittelkupplung 28 montiert. Die Kupplung erstreckt sich zwischen den Lagern 29, 30. Die Lager 29, 30 halten die Kupplung mit dem Teil 310 des Arms fest, erlauben jedoch eine relative Drehung der Kupplung und dieses Armteils um die Achse 20 und definieren somit ein Drehgelenk, das dem Gelenk 301 der Fig. 2 entspricht. Ein weiteres Lager 31 befestigt den distalen Schalenverbinder-sporn 311' an der Kupplung 28. Das Lager 31 hält den distalen Schalenverbindersporen 311' mit der Kupplung 28 fest, erlaubt jedoch eine relative Bewegung des Sporns und der Kupplung um die Achse 21 und definiert somit ein Drehgelenk, das dem Gelenk 302 der Fig. 2 entspricht.

[0043] Dadurch ist die Kupplung 28 mit dem Armteil 310 um die Achse 21 fest verbunden. Die Kupplung 28 ist auch mit dem Armteil 311 um die Achse 20 fest verbunden. Das heißt, der Mechanismus ist derart angeordnet, dass die Kupplung 28 und der Armteil 310 keine relative Drehung oder Bewegung um die Achse 21 erfahren können; und die Kupplung 28 und der Armteil 311 können keine relative Drehung oder Bewegung um die Achse 20 erfahren.

[0044] In dem Armteil 310 sind zwei Elektromotoren 24, 25 (siehe **Fig. 4**) montiert. Die Motoren treiben die jeweiligen Antriebswellen 26, 27 an, die sich in die Mitte des Handgelenkmechanismus erstrecken. Die Welle 26 treibt die Drehung um die Achse 20 an. Die Welle 27 treibt die Drehung um die Achse 21 an. Die Antriebswelle 26 endet an ihrem distalen Ende in einem Schneckenrad 32. Das Schneckenrad 32 greift in ein Kegelrad 33 ein, das fest mit der Kupplung 28 verbunden ist. Die Antriebswelle 27 endet an ihrem distalen Ende in einem Schneckenrad 34. Das Schneckenrad 34 greift in ein allgemein bei 35 dargestelltes Zahnradgetriebe ein, das in einem weiteren Schneckenrad 36 endet. Das schneckenförmige Ritzelrad 36 greift in ein hypoidverzahntes Kegelrad 37 ein, das fest mit dem distalen Schalenverbinder 311' verbunden ist.

[0045] In diesem Beispiel ist das Zahnrad 33 direkt an der Kupplung 28 befestigt. Das heißt, die Kupplung 28 liegt an dem Zahnrad 33 an. Das Zahnrad 33 ist daher an der Kupplung 28 montiert. Der distale Schalenverbindersporn 311' ist ebenfalls direkt mit dem Zahnrad 37 verbunden. Somit kann das Zahnrad 37 an dem Verbindersporn 311' anliegen.

[0046] Die Wellen 26 und 27 verlaufen parallel. Sie erstrecken sich beide entlang des Armteils 310. Insbesondere erstrecken sich die Wellen 26 und 27 in einer Richtung, die im Wesentlichen parallel zu der Längsrichtung des Armteils 310 verläuft. Die Wellen können parallel zu der Längsrichtung des Armteils 310 verlaufen oder sie können in einem Winkel zu der allgemeinen Längsrichtung des Armteils 310 montiert werden. Beispielsweise kann sich der Armteil 310 in Richtung des proximalen Endes zu dem distalen Ende hin verjüngen, und die Wellen 26 und 27 können sich in einer Richtung erstrecken, die parallel zu dem Konuswinkel des Armteils ist.

[0047] Die Schnecken 32 und 34 sind an den Antriebswellen 26 bzw. 27 befestigt und können daher als Wellenzahnräder bezeichnet werden. Die Drehung des Zahnrads 33 treibt die Drehung des Armteils 311 relativ zu dem Armteil 310 um die Achse 20 an, sodass das Zahnrad 33 auch als Antriebszahnrad bezeichnet werden kann. In ähnlicher Weise treibt die Drehung des Zahnrads 37 die Drehung des Armteils 311 relativ zu dem Armteil 310 um die Achse 21 an, weshalb das Zahnrad 37 auch als Antriebszahnrad bezeichnet werden kann.

[0048] Das Zahnrad 33 ist als Sektorzahnrad ausgebildet: d. h. sein Betriebsbogen (in dem Beispiel der **Fig. 3** und **4** durch den Bogen seiner Zähne definiert) ist kleiner als 360°.

[0049] Das Zahnradgetriebe 35 wird von der Kupplung 28 getragen. Der Zahnradgetriebe weist ein Ein-

gangszahnrad 38 auf, das in die Schnecke 34 eingreift. Das Eingangszahnrad 38 ist mit seiner Drehachse relativ zu der Kupplung 28 deckungsgleich mit der Achse 20 angeordnet. Das bedeutet, dass das Eingangszahnrad unabhängig von der Ausgestaltung der Kupplung 28 relativ zu dem Armteil 310 um die Achse 20 weiterhin in die Schnecke 34 eingreifen kann. Eine Reihe weiterer Zahnräder, deren Achsen parallel zu der Achse 20 verlaufen, überträgt den Antrieb von dem Eingangszahnrad 38 auf ein Ausgangszahnrad 39 auf einer Welle 40, deren Drehachse relativ zu dem Träger 28 parallel, jedoch versetzt zu der Achse 20 verläuft. Die Welle 40 endet in der Schnecke 36. Die Welle 40 erstreckt sich parallel zu der Achse 20. Die Zahnräder des Zahnradgetriebes 35 werden zusammen mit der Welle 40 von der Kupplung 28 getragen.

[0050] Im Folgenden wird die Funktionsweise des Handgelenkmechanismus beschrieben. Für die Bewegung um die Achse 20 wird der Motor 24 betrieben, um die Welle 26 anzutreiben und relativ zu dem Armteil 310 zu drehen. Dies treibt das Kegelrad 33 und damit die Kupplung 28 und den distalen Schalenverbinder 311' zum Drehen um die Achse 20 relativ zu dem Armteil 310 an. Für die Bewegung um die Achse 21 wird der Motor 25 betrieben, um die Welle 27 anzutreiben und relativ zu dem Armteil 310 zu drehen. Dies treibt das Kegelrad 37 und damit den distalen Schalenverbinder 311' zum Drehen um die Achse 21 relativ zu dem Armteil 310 an. Es ist zu beobachten, dass bei einer Drehung der Antriebswelle 26, die die Kupplung 28 zur Drehung antreibt, während die Antriebswelle 27 stationär bleibt, sich auch das Zahnrad 38 relativ zu der Kupplung 28 dreht, was zu einer parasitären Bewegung des distalen Schalenverbindersporns 311' um die Achse 21 führt. Um dies zu verhindern, ist das Steuersystem 10 des Arms derart ausgebildet, dass bei Bedarf eine Ausgleichsbewegung der Antriebswelle 27 in Verbindung mit der Bewegung der Antriebswelle 26 erfolgt, um die Bewegung um die Achse 21 von der Bewegung um die Achse 20 zu trennen. Ist beispielsweise eine relative Bewegung der Schalen 310, 311 nur um die Achse 20 erforderlich, wird der Motor 24 betrieben, um diese Bewegung zu bewirken, während der Motor 25 gleichzeitig in einer Weise betrieben wird, die verhindert, dass sich das Eingangszahnrad 38 relativ zu dem Träger 28 dreht.

[0051] Verschiedene Aspekte des in den **Fig. 3** und **4** dargestellten Mechanismus sind vorteilhaft, da sie dazu beitragen, den Mechanismus besonders kompakt zu gestalten.

1. Zweckmäßigerweise ist das Kegelrad 33 teilkreisförmig ausgebildet: d. h. seine Zähne umschließen keinen Vollkreis. Beispielsweise kann das Zahnrad 33 einen Winkel von weniger als 270° oder weniger als 180° oder weniger als 90° umschließen. Dadurch kann zumindest ein

Teil des anderen Kegelzahnrad 37 in einer Weise angeordnet werden, dass es einen mit dem Zahnrad 33 deckungsgleichen Kreis um die Achse des Zahnrad 33 schneidet, der denselben Radius aufweist wie der äußerste Teil des Zahnrad 33. Während dieses Merkmal bei der Verkleinerung einer Reihe von zusammengesetzten Gelenken hilfreich sein kann, ist es bei einem Handgelenk der in **Fig. 2** dargestellten Art, das ein Paar von Rollgelenken mit einem Paar von Nick-/Giergelenken dazwischen umfasst, von besonderer Bedeutung, da bei einem Gelenk dieser Art eine gewisse Redundanz zwischen den Nick-/Giergelenken besteht und daher ein großer Bereich von Positionen des distalen Endes des Arms erreicht werden kann, selbst wenn die Bewegung um die Achse 20 eingeschränkt ist.

2. Es ist vorteilhaft, wenn das Teilzahnrad 33 der Drehung um die Achse 20 dient, durch die der Träger 28 zu dem nächstgelegenen proximalen Armteil 310 geschwenkt wird, im Gegensatz zu der Drehung um die Achse 21, da das Teilzahnrad auch weggeschnitten werden kann, um eine Welle 40 aufzunehmen, die diesen Kreis schneidet. Dies spart Platz, da die Schnecke 36 auf der dem Zahnradgetriebe 35 gegenüberliegenden Seite des Kegelzahnrad 33 angeordnet werden kann. In anderen Ausführungen könnte das Teilzahnrad jedoch zur Drehung um die Achse 21 dienen, sodass das Zahnrad 37 eine teilkreisförmige Form aufweisen könnte.

3. Es ist vorteilhaft, wenn die Schnecken 32, 34 auf der dem Kegelzahnrad 37 gegenüberliegenden Seite der Achse 20 angeordnet sind: d. h., es gibt eine die Achse 20 enthaltende Ebene, auf deren einer Seite sich die Schnecken 32, 34 und auf deren anderer Seite sich das Kegelzahnrad 37 befindet. Dies trägt dazu bei, eine kompakte Verpackungsanordnung bereitzustellen. Somit sind beide Schnecken 32 und 34 auf einer einzigen Seite einer die Achse 20 enthaltenden Ebene, die parallel zu der Längsrichtung des Armteils 310 verläuft, angeordnet.

4. Es ist vorteilhaft, wenn die Schnecke 34 auf der dem Kegelzahnrad 33 gegenüberliegenden Seite der Schnecke 36 angeordnet ist und/oder das Zahnradgetriebe 35 ausschließlich auf der dem Kegelzahnrad 33 gegenüberliegenden Seite der Schnecke 36 angeordnet ist. Auch dies trägt dazu bei, eine kompakte Verpackungsanordnung bereitzustellen. Das heißt, das Zahnradgetriebe 35 (einschließlich aller miteinander verbundenen Zahnräder, beispielsweise die Zahnräder 38 und 39) kann auf einer Seite des Zahnrad 33 angeordnet sein. Anders ausgedrückt sind das Zahnradgetriebe 35 (einschließlich seiner miteinander verbundenen Zahnräder) und das Zahnrad 33 auf gegenüber-

liegenden Seiten einer Ebene angeordnet, die sowohl zu der Achse 21 als auch zu der Längsrichtung des Armteils 310 parallel verläuft. Diese Ebene kann die Achse 21 enthalten.

5. Die Zahnräder 33 und/oder 37 sind zweckmäßigerweise als Kegelzahnräder vorgesehen, da sie somit von innerhalb der Ebene ihrer jeweiligen Außenradien angeordneten Schnecken angetrieben werden können. Sie könnten jedoch auch außenverzahnte Zahnräder, die an ihren Außenflächen mit den Schnecken 32, 34 in Eingriff stehen, oder radial verzahnte Zahnräder sein.

6. Das Kegelzahnrad 33 ist zweckmäßigerweise zwischen den Schnecken 32 und 34 angeordnet. Dies unterstützt die Verpackung der Motoren 24, 25.

7. Die Kegelzahnräder und die mit ihnen verbundenen Schneckenzahnräder können zweckmäßigerweise die Form einer Hypoid- oder Schrägachse, z. B. Spiroid®, aufweisen. Diese Zahnräder ermöglichen eine relativ hohe Drehmomentkapazität bei relativ kompakter Form.

[0052] Die **Fig. 5** und **6** stellen eine zweite Form des Handgelenkmechanismus dar, der geeignet ist, die Gelenke 301, 302 in einem Handgelenk der in **Fig. 2** dargestellten Art bereitzustellen.

[0053] Wie in **Fig. 5** dargestellt, umfasst das Handgelenk ein Paar starrer Außenschalen 310', 311', die die Außenflächen der Armteile 310 bzw. 311 der **Fig. 2** definieren. 310' ist die proximalere der Schalen. Die aus den Schalen 310', 311' gebildeten Armteile können relativ zueinander um die Achsen 62, 63 schwenken, die jeweils den Achsen 305, 306 der **Fig. 2** entsprechen. Die Achsen 62, 63 sind orthogonal. Die Achsen 62, 63 schneiden sich. Die Schalen 310', 311' definieren die Außenseite des Arms in dem Bereich des Handgelenks und sind hohl, um einen Drehmechanismus und einen Raum für das Durchführen von Kabeln usw. aufzunehmen, wie nachstehend noch näher beschrieben wird. Die Schalen können aus einem Metall, beispielsweise einer Aluminiumlegierung oder Stahl, oder aus einem Verbundwerkstoff, beispielsweise einem faserverstärkten Harzverbundwerkstoff wie Kohlefaser, hergestellt sein. Die Schalen bilden die hauptsächlich starre Struktur der Armteile, die zwischen den jeweiligen Gelenken befestigt ist.

[0054] **Fig. 6** stellt denselben Mechanismus von distal und einer Seite dar, wobei die Schale 311' zur besseren Übersicht entfernt wurde.

[0055] Die Schale 310' ist mit der Schale 311' durch eine Kreuzkupplung 64 verbunden. Die Kupplung hat ein zentrales Rohr 65, das durch seine Mitte einen Kanal definiert, der allgemein entlang der Länge

des Arms verläuft. Von dem Rohr erstrecken sich erste Arme 66, 67 und zweite Arme 68, 69. Jede der Schalen 310', 311' ist über ein Drehgelenk an der Kupplung 64 befestigt: d. h. in einer Weise, dass sie sich relativ zu der Kupplung nur durch Drehung um eine einzige Achse bewegen kann. Die ersten Arme 66, 67 sind an der Schale 310' durch Lager 70, 71 befestigt, die eine Drehung zwischen diesen ersten Armen und der Schale 310' um die Achse 62 ermöglichen. Die zweiten Arme 68, 69 sind an der Schale 311' durch Lager 72, 73 befestigt, die eine Drehung zwischen diesen zweiten Armen und der Schale 311' um die Achse 63 ermöglichen. Ein erstes Kegelzahnrad 74 ist konzentrisch zu den ersten Armen 66, 67 angeordnet. Das erste Kegelzahnrad ist fest mit der Kupplung 64 verbunden und gegenüber der proximalen einen der zwei Schalen 310' frei drehbar. Ein zweites Kegelzahnrad 75 ist konzentrisch zu den zweiten Armen 68, 69 angeordnet. Das zweite Kegelzahnrad ist fest mit der distalen der zwei Schalen 311' verbunden und in Bezug auf die Kupplung 64 frei drehbar.

[0056] Das Paar von Armen 66, 67 der Kupplung steht senkrecht zu dem Paar von Armen 68, 69. Die Arme 66 und 67 liegen auf der Drehachse 62, die Arme 68 und 69 liegen auf der Drehachse 63. Die Kupplung 64 ist direkt an dem Zahnrad 74 befestigt. Die Kupplung 64 liegt somit an dem Zahnrad 74 an. Die Kupplung 64 (und somit das Zahnrad 74) kann sich relativ zu dem Armteil 310 um die Achse 62 drehen. Die Kupplung 64 und das Zahnrad 74 sind jedoch fest mit dem Armteil 310 um die Achse 63 verbunden, sodass keine relative Bewegung oder Drehung zwischen der Kupplung 64 und dem Armteil 310 um die Achse 63 stattfinden kann.

[0057] Das Kegelzahnrad 75 kann direkt an dem Armteil 311 montiert sein. Das Kegelzahnrad 75 kann sich in Bezug auf die Kupplung 64 (und somit das Armteil 310) um die Achse 63 drehen. Das Zahnrad 75 ist jedoch mit der Kupplung 64 fest um die Achse 62 verbunden. Das heißt, es kann keine relative Drehung oder Bewegung zwischen Kupplung 64 und Zahnrad 75 um die Achse 62 stattfinden.

[0058] Zwei Wellen 76, 77 Betreiben die Bewegung des Verbundgelenks. Die Wellen erstrecken sich von innerhalb der proximalen einen der Schalen 310' in den zentralen Bereich des Gelenks. Jede Welle ist an ihrem proximalen Ende mit der Welle eines entsprechenden Elektromotors (nicht dargestellt) verbunden, wobei die Gehäuse der Motoren in dem Inneren der proximalen Schale 310' befestigt sind. Auf diese Weise können die Wellen 76, 77 von den Motoren angetrieben werden, um sich in Bezug auf die proximale Schale 310' zu drehen.

[0059] Die Welle 76 und der zugehörige Motor betreiben die Bewegung um die Achse 62. Die

Welle 76 endet an ihrem distalen Ende in einem Schneckenzahnrad 78, das in das Kegelzahnrad 74 eingreift. Die Drehung der Welle 76 bewirkt eine Drehung des Kegelzahnrad 74 relativ zu der Schale 310' um die Achse 62. Das Kegelzahnrad 74 ist fest mit der Kupplung 64 verbunden, die ihrerseits die distale Schale 311' trägt. Somit bewirkt die Drehung der Welle 76 eine relative Drehung der Schalen 310', 311' um die Achse 62.

[0060] Die Welle 77 und der zugehörige Motor betreiben die Bewegung um die Achse 63. Dazu muss sie letztendlich das Kegelzahnrad 75 über ein von der Kupplung 64 getragenes Schneckenzahnrad 79 antreiben. Die Drehung dieses Schneckenzahnrad kann eine relative Drehung der Kupplung und der distalen Schale 311' bewirken. Dazu wird der Antrieb von der Welle 77 über ein von dem Träger 64 getragenes Zahnradpaar 80, 81 auf eine das Schneckenzahnrad 79 tragende Welle übertragen. Die Welle 77 nähert sich dem Träger 64 von der proximalen Seite. Die Zahnräder 80, 81 sind an der distalen Seite der Kupplung angeordnet. Die Zahnräder 80, 81 und 79 sind somit mit der Kupplung 64 fest um die Achsen 62 und 63 verbunden. Die Welle 77 verläuft durch den von dem Rohr 65 definierten Kanal in der Mitte der Kupplung. Um die Bewegung der Kupplung 64 relativ zu der ersten Schale 310' zu ermöglichen, weist die Welle 77 ein Kreuzgelenk oder Kardangeln 82 entlang ihrer Länge auf. Das Kreuzgelenk 82 liegt auf der Achse 62. Anstelle eines Kardangelns könnte die Welle eine andere Form einer elastischen Kupplung aufweisen, beispielsweise eine elastische Kupplung (die mit der Welle einstückig sein könnte) oder eine Form eines Gleichlaufgelenks.

[0061] Die Schnecke 78 ist an der Antriebswelle 76 befestigt und kann daher als Wellenzahnrad bezeichnet werden. Die Drehung des Zahnrad 74 treibt die Drehung des Armteils 311 relativ zu dem Armteil 310 um die Achse 62 an, sodass das Zahnrad 74 als Antriebszahnrad bezeichnet werden kann. In ähnlicher Weise treibt die Drehung des Zahnrad 75 die Drehung des Armteils 311 relativ zu dem Armteil 310 um die Achse 63 an, weshalb das Zahnrad 75 auch als Antriebszahnrad bezeichnet werden kann.

[0062] Die Welle 77 durchquert eine Ebene, die die Drehachse 63 enthält. Die Ebene enthält zusätzlich die Drehachse 62. Somit umfasst die Welle 77 einen proximalen Abschnitt, der proximal zu dieser Ebene liegt, und einen distalen Abschnitt, der distal zu dieser Ebene liegt. Der proximale Abschnitt der Welle 77 ist mit dem Motor verbunden oder anderweitig mit diesem gekoppelt. Der distale Abschnitt der Welle ist an dem Zahnrad 80 befestigt. Das Zahnrad 80 ist somit auf der distalen Seite dieser Ebene angeordnet. Das Zahnrad 80 kann auch als Wellenzahnrad bezeichnet werden. Der proximale und der dis-

tale Abschnitt der Welle 77 können durch das Kardangelen 82 getrennt sein. Das Kardangelen ermöglicht dem proximalen und dem distalen Abschnitt der Welle 77, sich gemeinsam zu drehen, sodass die Drehung des proximalen Abschnitts mit dem distalen Abschnitt gekoppelt ist. Da der distale Abschnitt der Welle 77 an dem Zahnrad 80 befestigt ist, folgt daraus, dass das Zahnrad 80 drehfest mit der Welle 77 ist.

[0063] Das Zahnrad 80 steht mit dem Zahnrad 81 in Eingriff oder greift mit diesem ineinander. In diesem Beispiel sind die Zahnräder 80 und 81 Stirnzahnräder. Die Zahnräder 80 und 81 haben parallele, jedoch versetzte Drehachsen. Die Drehachse des Zahnrads 80 ist kollinear mit der Drehachse des distalen Abschnitts der Welle 77. Die Schnecke 79 ist zum Drehen in Reaktion auf eine Drehung des Zahnrads 81 angeordnet. Die Schnecke 79 kann mit dem Zahnrad 81 drehfest sein, sodass eine Drehung des Zahnrads 81 eine entsprechende Drehung der Schnecke 79 bewirkt. Die Schnecke 79 kann eine Drehachse aufweisen, die mit der Drehachse des Zahnrads 81 kollinear ist. Somit koppeln die Zahnräder 80 und 81 die Drehung der Welle 77 mit der Drehung des Zahnrads 79 um eine Drehachse parallel zu der Drehachse des distalen Abschnitts der Welle 77.

[0064] Die Drehachse der Schnecke 79 verläuft nicht parallel zu der Drehachse des Zahnrads 75 (Achse 63) und schneidet diese nicht. Das Zahnrad 75 ist daher ein Schrägachsenzahnrad. Entsprechend sind auch die Drehachsen der Schnecke 78 und des Zahnrads 74 nicht parallel und schneiden sich nicht. Somit ist auch das Zahnrad 74 ein Schrägachsenzahnrad.

[0065] Es wird beobachtet, dass die Drehung der Welle 76, die die Kupplung 64 zu einer Drehung um die Achse 62 veranlasst, die Zahnräder 80 und 81 (und damit das Schnecken Zahnrad 79) bei stillstehender Welle 77 in Drehung versetzen kann, was zu einer parasitären Bewegung der distalen Schale 311' relativ zu der Schale 310' um die Drehachse 63 führt. Dies liegt daran, dass die durch die Drehung der Welle 77 angetriebene Drehung der Kupplung 64 um die Achse 62 von dem Kardangelen 82 aufgenommen werden muss, und dass die Drehung der Kupplung 64 eine parasitäre Drehung des Kardangelens um die Längsachse der Welle 77 verursachen kann. Eine solche parasitäre Drehung des Kardangelens kann eine daraus resultierende Drehung der Zahnräder 80 und 81 und damit eine Drehung des Kegelzahnrad 75 bewirken. Solche parasitären Bewegungen können auftreten, wenn die Scharnierachsen des Kardangelens nicht senkrecht zueinander stehen und/oder wenn eine der Scharnierachsen nicht parallel und deckungsgleich mit der Drehachse 62 ist.

[0066] Um diese parasitäre Bewegung zu verhindern, kann das Steuersystem 10 zum Antreiben einer Ausgleichsbewegung der Welle 77 in Tandem mit der Bewegung der Welle 76 ausgebildet sein, um die Bewegung um die Achse 62 von der Bewegung um die Achse 63 zu trennen. Somit kann das Steuersystem 10 zum Betreiben des Motors zum Antreiben der Drehung der Welle 76 zum Bewirken einer Drehung des Armteils 311' relativ zu dem Armteil 310' um die Achse 63 während des gleichzeitigen Betriebes des Motors zum Antreiben der Welle 77 zum Drehen in einer solchen Weise, dass eine parasitäre Drehung um die Achse 63 verhindert wird, angeordnet sein. Das Steuersystem 10 kann für den Betrieb in dieser Weise ausgelegt sein, wenn dem Roboterarm die Artikulation um die Achse 62 ohne Artikulation um die Achse 63 befohlen wird.

[0067] Das Steuersystem 10 kann auch zum Antreiben der Drehung der Welle 76 und/oder 77 in einer Weise ausgebildet sein, die Unregelmäßigkeiten bei der Drehung des Kardangelens 82 verringert (d. h. die Gleichmäßigkeit erhöht). Das Kardangelen kann Unregelmäßigkeiten bei seiner Drehung aufweisen, wenn es nicht in der Achse liegt, d. h., wenn der Armteil 311' relativ zu dem Armteil 310' um die Achse 62 geneigt ist. Wenn dem Armteil 311' eine Artikulation relativ zu dem Armteil 310' um die Achse 63 befohlen wird, wenn der Armteil 311' relativ zu dem Armteil 310' um die Achse 62 geneigt ist, kann das Steuersystem daher zum Antreiben der Drehung der Welle 77 in einer Weise arbeiten, die eine gleichmäßige oder konsistente Drehgeschwindigkeit des Kardangelens 82 beibehält. Dies kann dazu beitragen, eine reibungslose und/oder gleichmäßige Drehung um die Achse 63 bereitzustellen.

[0068] Es hat sich herausgestellt, dass dieser Mechanismus eine besonders kompakte, leichte und starre Antriebsanordnung für eine Drehung um die Achsen 62 und 63 bereitstellen kann, ohne dass die Komponenten des Mechanismus die Bewegung der Schalen übermäßig einschränken. Es ermöglicht die Unterbringung beider Motoren in der proximalen Schale, was das distale Gewicht reduziert.

[0069] Verschiedene Aspekte des in den Fig. 5 und 6 dargestellten Mechanismus sind vorteilhaft, da sie dazu beitragen, den Mechanismus besonders kompakt zu gestalten.

1. Zweckmäßigerweise ist das Kegelzahnrad 74 teilkreisförmig ausgebildet: d. h. seine Zähne umschließen keinen Vollkreis. Das Zahnrad 74 kann zum Beispiel einen Winkel von weniger als 270° oder weniger als 180° oder weniger als 90° umschließen. Dadurch kann zumindest ein Teil des anderen Kegelzahnrad 75 in einer Weise angeordnet werden, dass es einen mit dem Zahnrad 74 deckungsgleichen Kreis um die Achse des Zahnrads 74 schneidet, der densel-

ben Radius aufweist wie der äußerste Teil des Zahnrads 74. Während dieses Merkmal bei der Verkleinerung einer Reihe von zusammengesetzten Gelenken hilfreich sein kann, ist es bei einem Handgelenk der in **Fig. 2** dargestellten Art, das ein Paar von Rollgelenken mit einem Paar von Nick-/Giergelenken dazwischen umfasst, von besonderer Bedeutung, da bei einem Gelenk dieser Art eine gewisse Redundanz zwischen den Nick-/Giergelenken besteht und daher ein großer Bereich von Positionen des distalen Endes des Arms erreicht werden kann, selbst wenn die Bewegung um die Achse 62 eingeschränkt ist. Wie in **Fig. 6** dargestellt, weist das Kegelzahnrad 74 in dem Bereich, der nicht von seinen Zähnen umschlossen ist, einen reduzierten Radius auf. Teilkreisförmige Kegelzahnrad der anderen Ausführungsformen können auf die gleiche Weise geformt sein.

2. Die Zahnräder 74 und/oder 75 sind zweckmäßigerweise als Kegelzahnrad vorgesehen, da sie somit von innerhalb der Ebene ihrer jeweiligen Außenradien angeordneten Schnecken angetrieben werden können. Sie könnten jedoch auch außenverzahnte Zahnräder, die an ihren Außenflächen mit den Schnecken 76, 79 in Eingriff stehen, oder radial verzahnte Zahnräder sein.

4. Die Kegelzahnrad und die mit ihnen verbundenen Schneckenrad können zweckmäßigerweise die Form einer Schrägachse, z. B. Spiroid®, aufweisen. Diese ermöglichen eine relativ hohe Drehmomentkapazität bei relativ kompakter Form.

[0070] Die **Fig. 7** bis **10** veranschaulichen eine andere Form des Handgelenkmechanismus. In diesen Figuren sind die Schalen der Arnteile 310, 311 ausgelassen, wodurch die Struktur innerhalb der Arnteile sichtbar wird. Der proximale Arnteil 310 weist ein strukturelles Gerüst 100 auf, das in einigen der Figuren in Umrissen dargestellt ist. Der distale Arnteil 311 weist ein strukturelles Gerüst 101 auf. Die Arnteile 310 und 311 sind relativ zueinander um die Achsen 102, 103 drehbar, die den Achsen 305 bzw. 306 der **Fig. 2** entsprechen. Ein Träger 104 koppelt die Arnteile 310, 311 zusammen. Der Träger 104 ist über die Lager 105, 190 an dem Arnteil 310 befestigt. Diese Lager definieren ein Drehgelenk um die Achse 102 zwischen dem Arnteil 310 und dem Träger 104. Der Träger 104 ist über ein Lager 106 an dem Arnteil 311 befestigt. Diese Lager definieren ein Drehgelenk um die Achse 103 zwischen dem Arnteil 311 und dem Träger 104. Ein erstes Kegelzahnrad 107 um Achse 102 ist fest mit dem Träger 104 verbunden. Ein zweites Kegelzahnrad 108 um die Achse 103 ist fest mit dem Arnteil 311 verbunden.

[0071] Der Träger 104 kann sich daher relativ zu dem Arnteil 310 um die Achse 102 drehen. Der Träger 104 ist ansonsten fest mit dem Arnteil 310 und insbesondere fest um die Achse 103 verbunden. Daher wird dem Träger 104 keine relative Drehung in Bezug auf den Arnteil 310 um die Achse 103 erlaubt. Das zweite Kegelzahnrad 108 kann sich relativ zu dem Träger 104 um die Achse 103 drehen. Das zweite Kegelzahnrad 108 (und damit der Arnteil 311) kann fest mit dem Träger um die Achse 102 verbunden sein. Somit wird dem Kegelzahnrad 108 erlaubt, eine relative Drehung in Bezug auf den Träger 104 um die Achse 103, jedoch keine relative Drehung in Bezug auf den Träger um die Achse 102 zu erfahren.

[0072] Die Achsen 102 und 103 stehen in diesem Beispiel senkrecht zueinander, sind jedoch im Allgemeinen zwei nicht parallele Achsen. Sie können im Wesentlichen orthogonal zueinander sein. In zumindest einer Ausgestaltung der Gelenke 301 und 302 verlaufen die Achsen im Wesentlichen quer zu der Längsrichtung des Arnteils 310. In der gezeigten Anordnung ist eine solche Ausgestaltung, wenn der Arnteil 311 in Bezug auf den Arnteil 310 nicht artikuliert ist. In einem kartesischen Koordinatensystem kann die Achse 102 als „Nick“-Drehachse und die Achse 103 als „Gier“-Drehachse betrachtet werden.

[0073] Wie bei den anderen hierin beschriebenen Mechanismen ist der Träger 104 innerhalb der Glieder 310, 311 angeordnet.

[0074] Zwei Motoren 109, 110 sind an dem Gerüst 100 des Arnteils 310 befestigt. Der Motor 109 treibt eine Welle 111 an. Die Welle 111 ist starr und endet in einer Schnecke 118, die in das Kegelzahnrad 107 eingreift. Bei Betrieb des Motors 109 dreht sich die Welle 111 relativ zu dem proximalen Arnteil 310 und treibt das Kegelzahnrad 107 und damit die Kupplung 104 und den Arnteil 311 an, um sich relativ zu dem Arnteil 310 um die Achse 102 zu drehen. Der Motor 110 treibt eine Welle 112 an. Die Welle 112 weist in der Nähe ihres distalen Endes eine Schnecke 113 auf, die in das Kegelzahnrad 108 eingreift. Um die Bewegung des Kegelzahnrads 108 relativ zu dem Motor 110 aufzunehmen, wenn sich die Kupplung 104 um die Achse 102 bewegt, umfasst die Welle 112 ein Paar Kreuzgelenke 114, 115 und eine Keilkupplung 116, die das axiale Ausfahren und Einfahren der Welle 112 aufnimmt. Der letzte Teil der Welle 112 ist durch das Lager 117 an der Kupplung 104 montiert.

[0075] Die Keilkupplung 116 ist ein Beispiel für ein Schubgelenk.

[0076] Der distale Teil der Welle 112, der durch das Lager 117 an dem Träger 104 montiert ist, ist fest mit der Schnecke 113 verbunden (am deutlichsten in

Fig. 10 dargestellt). Das Lager 117 definiert ein Drehgelenk, das auf der der Kupplung 116 gegenüberliegenden Seite des Kreuzgelenks 115 angeordnet ist. Dieses Drehgelenk ermöglicht dem distalen Teil der Welle 112, sich relativ zu dem Träger 104 zu drehen. Der distale Teil der Welle 112 erstreckt sich in allen Drehpositionen des Trägers in einer Richtung senkrecht zu der Achse 102 und ist in Bezug auf den Träger 104 um eine Achse senkrecht zu der Achse 102 drehbar. Mit Bezug auf **Fig. 7** ist ersichtlich, dass die Welle 112 eine die Achse 102 enthaltende Ebene durchläuft, die quer zu der Längsrichtung des Armteils 310 liegt. In diesem Beispiel ist der distale Teil der Welle 112 direkt an der Schnecke 113 befestigt und erstreckt sich somit zwischen der Schnecke und dem Träger 104. Der distale Teil der Welle 112 ist derart an dem Träger 104 montiert, dass die Schnecke 113 sicher in das Kegelzahnrad 108 eingreift, wenn der Träger 104 um die Achse 102 artikuliert wird.

[0077] Die Kreuzgelenke 114 und 115 der Welle 112 sind auf gegenüberliegenden Seiten der Kupplung 116 angeordnet. Beide Kreuzgelenke sind proximal der Drehachsen 102 und 103 angeordnet. Die Kreuzgelenke 114, 115 und die Kupplung 116 sind angeordnet, um dem Träger 104 eine Drehung relativ zu dem Armteil 310 um die Achse 102 zu ermöglichen.

[0078] Das Kegelzahnrad 107 ist um die Achse 102 angeordnet. Das heißt, das Zahnrad 107 hat als Drehachse die Achse 102. Die Drehung des Zahnrad 107 um die Achse 102 treibt die Drehung des Armteils 311 relativ zu dem Armteil 310 an. Das Zahnrad 107 kann daher als Antriebszahnrad bezeichnet werden.

[0079] Das Kegelzahnrad 108 ist um die Achse 103 angeordnet. Somit hat das Kegelzahnrad 108 als Drehachse die Achse 103. Die Drehung des Zahnrad 108 um die Achse 103 treibt die Drehung des Armteils 311 relativ zu dem Armteil 310 um die Achse 310 an. Das Zahnrad 108 kann daher auch als Antriebszahnrad bezeichnet werden.

[0080] Die Welle 111 erstreckt sich entlang der Längsrichtung des Armteils 310. Die Längsachse der Welle 111 kann in allen Drehpositionen des Trägers 104 um die Achsen 102 und 103 senkrecht zu der Achse 102 verlaufen. Die Welle 111 (und die daran befestigte Schnecke 118) drehen sich um die Längsachse der Welle 111. Diese Drehachse ist nicht parallel zu der Drehachse 102 des Zahnrad 107 und schneidet diese nicht. Das Zahnrad 107 ist daher ein Schrägachsenzahnrad.

[0081] Beide Schnecken 113 und 118 können auf einer einzigen Seite einer die Achse 103 enthaltenden Ebene angeordnet sein, die quer zu der Längsrichtung des Armteils 311 verläuft, wenn dieser Arm-

teil mit dem Armteil 310 um die Achse 103 ausgerichtet ist, mit anderen Worten, wenn sich der Armteil 311 relativ zu dem Armteil 310 nicht im Gieren befindet. Insbesondere können beide Schnecken auf der proximalen Seite dieser Ebene angeordnet sein. Die Schnecken 113 und 118 können jedoch auf gegenüberliegenden Seiten einer die Achse 102 enthaltenden Ebene angeordnet sein, die parallel zu der Längsrichtung des Armteils 311 verläuft.

[0082] Durch den Betrieb der Kreuzgelenke 114 und 115 und der Kupplung 116 drehen sich die Schnecken-zahnräder 113 und 118 relativ zueinander um die Achse 102, wenn der Träger 104 um die Achse 102 artikuliert wird. Wenn der Armteil 310 mit dem Armteil 311 um die Achse 102 ausgerichtet ist (d. h., wenn der Armteil 311 nicht in Neigung relativ zu dem Armteil 310 steht), sind das Schnecken-zahnrad 113 und der distale Teil der Welle 112 parallel zu dem Wellenzahnrad 118 und zu der Welle 111. In allen anderen Ausgestaltungen der Armteile um die Achse 102 sind das Schnecken-zahnrad 113 und der distale Teil der Welle 112 nicht parallel zu dem Wellenzahnrad 118 und zu der Welle 111.

[0083] Die Schnecken 113 und 118 sind an den jeweiligen Antriebswellen 112 und 111 befestigt und können daher auch als Wellenzahnräder bezeichnet werden.

[0084] Im Folgenden wird die Funktionsweise des Gelenkmechanismus beschrieben.

[0085] Zum Antreiben der Artikulationen um die Achse 102 wird der Motor 109 zum Drehen der Antriebswelle 111 um ihre Längsachse betrieben. Da das Wellenzahnrad 118 an der Welle 111 befestigt ist, bewirkt die Drehung der Welle 111 auch das Drehen des Zahnrad 118 um die Längsachse der Welle 111. Das Wellenzahnrad 118 greift in das Antriebs-zahnrad 107 ein und bewirkt dessen Drehung um die Achse 102 relativ zu dem Armteil 310. Der Träger 104 ist fest mit dem Antriebszahnrad 107 verbunden und somit bewirkt die Drehung des Antriebszahnrad 107, dass sich der Träger 104 relativ zu dem Armteil 310 um die Achse 102 dreht. Die Drehung des Trägers 104 um die Achse 102 bewirkt die Artikulation des Armteils 311 relativ zu dem Armteil 310 um die Achse 102. Die Drehung des Trägers 104 um die Achse 102 bewirkt eine Artikulation der Kreuzgelenke 114 und 115 und des Schubgelenks 116, um die Drehung des Wellenzahnrad 113 relativ zu dem Wellenzahnrad 118 um die Achse 102 aufzunehmen.

[0086] Zum Antreiben von Artikulationen um die Achse 103 wird der Motor 110 zum Drehen der Antriebswelle 112 betrieben. Die Drehung des proximalen Endes der Antriebswelle 112 ist über die Kreuzgelenke 114 und 115 (und die Kupplung 116)

mit der Drehung des Wellenzahnrads 113 gekoppelt. Das Wellenzahnrad 113 greift in das Kegelzahnrad 108 ein. Somit treibt die Drehung des Wellenzahnrads 113 die Drehung des Zahnrads 108 um die Achse 103 relativ zu dem Träger 104 an. Das Kegelzahnrad 108 ist fest mit dem Armteil 311 verbunden, und somit bewirkt die Drehung des Zahnrads 108 eine Artikulation des Armteils 311 in Bezug auf das Armteil 310 um die Achse 103.

[0087] Die Drehung der Antriebswelle 111 bei stillstehender Welle 112 kann eine parasitäre Bewegung des Armteils 311 um die Achse 103 bewirken. Dies liegt daran, dass die Drehung des Trägers 104 um die Achse 102 eine Drehung der Kreuzgelenke 114 und 115 bewirken kann, die die Drehung der Schnecke 113 und damit des Kegels 108 antreibt. Zur Verhinderung dieser parasitären Bewegung kann das Steuersystem 10 zum Betreiben des Motors 109 zum Antreiben der Drehung der Welle 111 zum Bewirken der Drehung des Armteils 311 relativ zu dem Armteil 310 um die Achse 102 während des gleichzeitigen Betriebens des Motors 110 zum Antreiben der Drehung der Welle 112 in einer Weise, die eine parasitäre Drehung um die Achse 103 verhindert, angeordnet sein. Das Steuersystem 10 kann für den Betrieb in dieser Weise ausgelegt sein, wenn dem Roboterarm die Artikulation um die Achse 102 ohne Artikulation um die Achse 103 befohlen wird.

[0088] Das Steuersystem 10 kann auch zum Antreiben der Drehung der Welle 112 in einer Weise zum Reduzieren von Unregelmäßigkeiten bei der Drehung der Kreuzgelenke 114 und 115 ausgebildet sein. Die Kardangelenke können eine unregelmäßige oder inkonsistente Drehung erfahren, wenn sie nicht in der Achse liegen, d. h., wenn sich der Armteil 311 relativ zu dem Armteil 310 in Neigung befindet. Daher kann, wenn dem Armteil 311 eine Artikulation relativ zu dem Armteil 310 um die Achse 103 befohlen wird, wenn sich der Armteil 311 in Neigung relativ zu dem Armteil 310 befindet, das Steuersystem 10 zum Antreiben der Drehung der Welle 112 in einer Weise arbeiten, die eine gleichmäßige oder konstante Drehgeschwindigkeit der Kardangelenke 114 und 115 beibehält. Dies kann dazu beitragen, eine reibungslose und/oder gleichmäßige Drehung um die Achse 103 bereitzustellen.

[0089] Verschiedene Aspekte des in den **Fig. 7** bis 10 dargestellten Mechanismus sind vorteilhaft, da sie dazu beitragen, den Mechanismus besonders kompakt zu gestalten. Zum Beispiel:

Zweckmäßigerweise ist das Kegelzahnrad 107 teilkreisförmig ausgebildet: d. h., seine Zähne umschließen keinen Vollkreis. Das Zahnrad 107 kann zum Beispiel einen Winkel von weniger als 270° oder weniger als 180° oder weniger als 90° umschließen. Dadurch kann zumindest

ein Teil des anderen Kegelzahnrads 108 in einer Weise angeordnet werden, dass es einen mit dem Zahnrad 107 deckungsgleichen Kreis um die Achse des Zahnrads 107 schneidet, der denselben Radius aufweist wie der äußerste Teil des Zahnrads 107. Während dieses Merkmal bei der Verkleinerung einer Reihe von zusammengesetzten Gelenken hilfreich sein kann, ist es bei einem Handgelenk der in **Fig. 2** dargestellten Art, das ein Paar von Rollgelenken mit einem Paar von Nick-/Giergelenken dazwischen umfasst, von besonderer Bedeutung, da bei einem Gelenk dieser Art eine gewisse Redundanz zwischen den Nick-/Giergelenken besteht und daher ein großer Bereich von Positionen des distalen Endes des Arms erreicht werden kann, selbst wenn die Bewegung um die Achse 102 eingeschränkt ist.

[0090] Zweckmäßigerweise sind die Schnecken 118 und 113 auf gegenüberliegenden Seiten des Kegelzahnrads 107 angeordnet. Mit anderen Worten: Das Kegelzahnrad 107 kann zwischen den Schnecken 113 und 118 eingefügt sein. Dies kann dazu beitragen, eine kompakte Verpackungsanordnung bereitzustellen. Die Zahnräder 107 und/oder 108 sind zweckmäßigerweise als Kegelzahnräder vorgesehen, da sie somit von innerhalb der Ebene ihrer jeweiligen Außenradien angeordneten Schnecken angetrieben werden können. Es könnte sich jedoch auch um außenverzahnte Zahnräder handeln, die an ihren Außenflächen mit den an den Wellen 111, 112 befestigten Schnecken in Eingriff stehen, oder um außenverzahnte Zahnräder.

[0091] Die Kegelzahnräder und die mit ihnen verbundenen Schneckenzahnräder können zweckmäßigerweise die Form einer Schrägachse, z. B. Spiroid®, aufweisen. Diese ermöglichen eine relativ hohe Drehmomentkapazität bei relativ kompakter Form.

[0092] An den vorstehend beschriebenen Mechanismen können verschiedene Änderungen vorgenommen werden. Zum Beispiel und ohne Einschränkung:

- Die den Achsen 305 und 306 entsprechenden Achsen müssen sich nicht schneiden und müssen nicht orthogonal sein. Im Allgemeinen handelt es sich bei den den Achsen 305 und 306 entsprechenden Achsen um zwei nicht parallele Drehachsen. Sie können in allen Ausgestaltungen der Gelenke 301 und 302 im Wesentlichen senkrecht zueinander stehen. In zumindest einer Ausgestaltung der Gelenke 301 und 302 kann jede Achse im Wesentlichen quer zu der Längsrichtung des Armteils 310 verlaufen. Eine solche Ausgestaltung ist, wenn sich der Armteil 311 weder in Neigung noch in Gier relativ zu dem Armteil 310 befindet.

- Die den Achsen 305 und 306 entsprechenden Achsen sind nicht parallel, müssen aber nicht orthogonal zueinander sein. Die Achse 305 ist nicht parallel zu der Achse 304, muss aber nicht orthogonal zu ihr sein. Die Achse 306 ist nicht parallel zu der Achse 307, muss aber nicht orthogonal zu ihr sein.

- Die den Achsen 304 und 307 entsprechenden Achsen müssen nicht parallel und kollinear sein; sie könnten parallel, aber nicht kollinear sein. Beispielsweise könnte der Armteil 3b relativ zu dem Armteil 3c gekrümmt sein.

- Die Kegelzahnräder oder ihre Äquivalente mit Außenzahnradern müssen nicht durch Schnecken angetrieben werden. Sie könnten von anderen Zahnradern angetrieben werden. Sie könnten beispielsweise durch Ritzel angetrieben werden.

- Somit können die Antriebszahnäder Kegelzahnäder oder andere Arten von Hohlradern sein, wie außenverzahnte Zahnäder, d. h. Zahnäder mit sich in radialer Richtung erstreckenden Zähnen. Die Wellenzahnäder könnten Schnecken oder andere Arten von Zahnädern wie Ritzel, z. B. Kegelzahnäder, sein.

- Ein oder beide Kegelzahnäder könnten Teilzahnäder sein. Generell könnten eines oder beide Antriebszahnäder Teilzahnäder sein.

- In den vorstehenden Beispielen bilden die Mechanismen einen Teil eines Handgelenks eines Roboterarms. Die Mechanismen könnten auch für andere Anwendungen genutzt werden, beispielsweise für andere Teile von Roboterarmen, für Roboterwerkzeuge und für nicht robotische Anwendungen wie Steuerköpfe für Kameras.

[0093] Wie vorstehend mit Bezug auf **Fig. 1** erläutert, ist jedes Gelenk mit einem Drehmomentsensor versehen, der das um die Achse des betreffenden Gelenks aufgebrachte Drehmoment erfasst. Die Daten der Drehmomentsensoren werden der Steuereinheit 10 zur Steuerung des Armbetriebs bereitgestellt.

[0094] Die **Fig. 9** und **10** stellen einen der Drehmomentsensoren und seine Befestigungsanordnung im Querschnitt dar. Der Drehmomentsensor 150 misst das um die Achse 103 aufgebrachte Drehmoment: d. h. von dem Träger 104 zu dem distalen Armrahmen 101. Wie vorstehend beschrieben, ist das Kegelzahnrad 108 fest mit dem Rahmen 101 verbunden und um die Achse 103 in Bezug auf den Träger 104 drehbar. Das Kegelzahnrad 108 umfasst einen sich radial erstreckenden Zahnradabschnitt 151, von dem aus sich seine Verzahnung 152 in einer axialen Richtung erstreckt, und einen sich axial erstreckenden Hals 153. Der Hals, der radial verlau-

fende Zahnradabschnitt und die Zähne sind einstückig ausgebildet. Die Innen- und Außenwände des Halses 153 weisen ein kreiszylindrisches Profil auf. Ein Paar von Rollen- oder Kugellagerringen 106, 154 liegen eng an der Außenseite des Halses an. Die Lager sitzen in Schalen in dem Träger 104 und halten den Hals 153 relativ zu dem Träger in Position, während sie eine Drehung des Kegelzahnrads 108 relativ zu dem Träger um die Achse 103 ermöglichen.

[0095] Der Drehmomentsensor 150 weist einen sich radial erstreckenden oberen Flansch 155, ein sich von dem oberen Flansch aus erstreckendes axiales Torsionsrohr 156 und eine mit Innengewinde versehene Basis 157 an dem dem Flansch gegenüberliegenden Ende des Torsionsrohres auf. Der obere Flansch 155 liegt an dem Zahnradabschnitt 151 des Kegelzahnrads 108 an. Der obere Flansch wird durch Bolzen 158 mit dem Zahnradabschnitt zusammengehalten. Das Torsionsrohr 156 erstreckt sich innerhalb des Halses 153 des Kegelzahnrads 108. Die Außenwand des Torsionsrohres weist ein kreiszylindrisches Profil auf. Die Außenseite der Basis 157 ist mit einer Keilstruktur ausgebildet, die form-schlüssig in eine entsprechende Struktur in dem Rahmen 101 eingreift, um beide in einer festen Beziehung um die Achse 103 zu halten. Ein Bolzen 159 erstreckt sich durch den Rahmen 101 und in die Basis 157, um diese miteinander zu verklammern. Somit ist es der Drehmomentsensor 150, der das Kegelzahnrad 108 an dem Armrahmen 101 befestigt, und das um die Achse 103 aufgebrachte Drehmoment wird über den Drehmomentsensor aufgebracht. Das Torsionsrohr weist einen hohlen Innenraum und eine relativ dünne Wand zu seinem Torsionsrohr 150 auf. Beim Aufbringen eines Drehmoments über den Drehmomentsensor kommt es zu einer leichten Torsionsverformung des Torsionsrohres. Die Auslenkung des Torsionsrohres wird mit Dehnungsmessstreifen 160 gemessen, die an der Innenwand des Torsionsrohres befestigt sind. Die Dehnungsmessstreifen erzeugen eine die Torsion anzeigende elektrische Ausgabe, die eine Darstellung des Drehmoments um die Achse 103 bereitstellt. Die Dehnungsmessstreifen könnten eine andere Form aufweisen: zum Beispiel optische Interferenz-Dehnungsmessstreifen, die eine optische Ausgabe bereitstellen.

[0096] Um eine möglichst genaue Ausgabe des Drehmomentsensors zu erhalten, sollte eine Drehmomentübertragung von dem Kegelzahnrad 108 auf den Rahmen 101 unter Umgehung des Torsionsrohres 156 vermieden werden. Aus diesem Grund ist es bevorzugt, die Reibung zwischen dem Hals 153 des Kegelzahnrades 108 und der Basis 157 des Drehmomentsensors zu verringern. Eine Möglichkeit besteht darin, einen Spalt zwischen dem Hals des Kegelzahnrades und der Basis des Drehmomentsensors sowie dem Torsionsrohr vorzusehen. Dies

könnte jedoch dazu führen, dass Scherkräfte auf das Torsionsrohr in einer Richtung quer zu der Achse 103 aufgebracht werden, was wiederum die Genauigkeit des Drehmomentsensors durch die Exposition der Dehnungsmessstreifen 160 gegenüber anderen als Torsionskräften verringern würde. Eine weitere Möglichkeit ist das Einbringen eines Lagerrings zwischen der Innenseite des Halses des Kegelzahnrades 108 und der Außenseite der Basis 157 des Drehmomentsensors. Dies würde jedoch das von dem Mechanismus eingenommene Volumen erheblich vergrößern. Stattdessen hat sich gezeigt, dass die in **Fig. 8** dargestellte Anordnung zu guten Ergebnissen führt. Um das Torsionsrohr 156 und innerhalb des Halses 153 des Kegelzahnrades 108 ist eine Hülse oder Buchse 161 vorgesehen. Die Hülse ist so bemessen, dass sie durchgehend Kontakt mit der Innenwand des Halses 153 und mit der Außenwand des Torsionsrohres 156 hat, das ebenfalls ein kreiszylindrisches Profil aufweist. Die gesamte Innenfläche der Hülse kontaktiert die Außenfläche des Torsionsrohres 156. Die gesamte Außenfläche der Hülse kontaktiert die Innenfläche des Halses 153. Die Hülse ist derart aufgebaut, dass sie relativ wenig Reibung zwischen dem Hals und dem Torsionsrohr erzeugt: beispielsweise kann die Hülse aus einem reibungsarmen oder selbstschmierenden Material bestehen oder damit beschichtet sein. Die Hülse besteht aus einem im Wesentlichen nicht komprimierbaren Material, sodass sie eine Verformung des Drehmomentsensors unter Scherkräften quer zu der Achse 103 verhindern kann. Beispielsweise kann die Hülse aus einem Kunststoffmaterial wie Nylon, Polytetrafluorethylen (PTFE), Polyethylen (PE) oder Acetal (z. B. Delrin®) oder aus Graphit oder einem mit Schmiermittel imprägnierten Metall bestehen oder damit beschichtet sein.

[0097] Für eine einfache Montage des Mechanismus und zum Festhalten der Hülse 161 ist die Innenwand des Halses 153 des Kegelzahnrades 108 in der Nähe des von dem radial verlaufenden Abschnitt des Zahnrades 151 entfernten Endes bei 162 nach innen abgestuft. Wenn die Hülse 161 zwischen dem Hals 153 und dem Torsionsrohr 156 angeordnet ist und der Kopf 155 des Drehmomentsensors mit dem Zahnradabschnitt 151 verschraubt ist, wird die Hülse sowohl radial (zwischen dem Torsionsrohr und dem Hals) als auch axial (zwischen dem Kopf 155 des Drehmomentsensors und der Stufe 162 der Innenfläche des Halses 153 des Kegelzahnrades) festgehalten. Vorzugsweise ist der Innenradius des Halses 153 in dem Bereich 163 jenseits der Stufe 162 derart, dass die Innenfläche des Halses in diesem Bereich von dem Drehmomentsensor 150 beabstandet ist, wodurch eine Reibungsdrehmomentübertragung zwischen den beiden verhindert wird.

[0098] Ähnliche Anordnungen können für den Drehmomentsensor um die andere Achse 102 der Aus-

führungsform der **Fig. 7** bis 10 und für die Drehmomentsensoren der Ausführungsformen der anderen Figuren verwendet werden.

[0099] Zur Erfassung der Drehposition der Gelenke werden Hall-Effekt-Sensoren verwendet. Jeder Positionssensor umfasst einen Ring aus Material, der um eine der Drehachsen angeordnet ist. Der Ring weist eine Reihe von regelmäßig beabstandeten, sich abwechselnden magnetischen Nord- und Südpolen auf. Angrenzend an den Ring befindet sich ein Sensorchip mit mehreren Hall-Effekt-Vorrichtungen umfassenden Sensorarray, das das Magnetfeld erfassen und die Position der Magnetpole auf dem Ring relativ zu dem Sensorarray messen kann, um eine Multibit-Ausgabe bereitzustellen, die diese relative Position angibt. Die Ringe der Magnetpole sind derart angeordnet, dass jede Position des jeweiligen Gelenks innerhalb eines 360°-Bereichs mit einem eindeutigen Satz von Ausgaben des Magnetsensorpaares verbunden ist. Dies kann durch Bereitstellen einer unterschiedlichen Anzahl von Polen auf jedem Ring erreicht werden, wobei die Anzahl der Pole der Ringe teilerfremd gestaltet sind. Hall-Effekt-Positionssensoren, die dieses allgemeine Prinzip verwenden, sind für den Einsatz in der Robotik und für andere Anwendungen bekannt.

[0100] Genauer gesagt sind jedem Gelenk ein Paar abwechselnd magnetisierter Ringe und entsprechende Sensoren zugeordnet. Jeder Ring ist konzentrisch um die Achse seines jeweiligen Gelenks angeordnet. Die Ringe sind mit einem Element auf der einen Seite des Gelenks und die Sensoren mit einem Element auf der anderen Seite des Gelenks fest verbunden, sodass bei Drehung des Roboterarms um das jeweilige Gelenk eine relative Drehbewegung jedes Rings und seines jeweiligen Sensors stattfindet. Jeder einzelne Sensor misst, wo zwischen einem Paar von Polen der zugehörige Ring relativ zu dem Sensor positioniert ist. Aus der Ausgabe eines einzelnen Sensors lässt sich nicht erkennen, welches der Polpaare auf dem Ring über dem Sensor liegt. Daher können die einzelnen Sensoren nur in relativer Weise verwendet werden und würden bei dem Einschalten eine Kalibrierung erfordern, um die absolute Position des Gelenks zu ermitteln. Durch die Verwendung eines Paares von Ringen, die derart gestaltet sind, dass die Anzahl der Polpaare in jedem Ring keine gemeinsamen Faktoren aufweist, ist es jedoch möglich, die Zwischenpolpaar-Messungen von beiden Sensoren zu kombinieren und die absolute Position des Gelenks ohne Kalibrierung zu ermitteln.

[0101] Die Magnetringe und Sensoren sind in den **Fig. 7** bis 10 dargestellt. Für das Gelenk, das eine Drehung um die Achse 102 bereitstellt, wird die Position mittels der Magnetringe 200 und 201 sowie der Sensoren 202 und 203 erfasst. Für das Gelenk, das

eine Drehung um die Achse 103 bereitstellt, wird die Position mittels der Magnetringe 210, 211, des Sensors 212 und eines weiteren, nicht dargestellten Sensors erfasst. Der Magnetring 200 ist fest mit dem Träger 104 verbunden und an einer Seite des Trägers montiert. Der Magnetring 201 ist fest mit dem Träger 104 verbunden und auf der anderen Seite des Trägers an dem Magnetring 200 montiert. Die Magnetringe 200, 201 sind planar und senkrecht zu der Achse 102 angeordnet und auf diese zentriert. Die Sensoren 202 und 203 sind fest mit dem Rahmen 100 des Armteils 310 verbunden. Der Sensor 202 ist angrenzend an eine Seite des Rings 200 montiert. Der Sensor 203 ist angrenzend an eine Seite des Rings 201 montiert. Über Kabel 204, 205 werden die Signale von den Sensoren 202, 203 übertragen. Der Magnetring 210 ist fest mit dem Träger 104 verbunden und an einer Seite eines Flansches 220 des Trägers montiert. Der Magnetring 211 ist fest mit dem Träger 104 verbunden und auf der anderen Seite des Flansches 220 an dem Magnetring 200 montiert. Die Magnetringe 210, 211 sind planar und senkrecht zu der Achse 103 angeordnet und auf diese zentriert. Der Sensor 212 und der andere Sensor für die Drehung um die Achse 103 sind fest mit dem Rahmen 101 des Armteils 311 verbunden. Der Sensor 212 ist angrenzend an eine Seite des Rings 210 montiert. Der andere Sensor ist angrenzend an eine Seite des Rings 211 montiert.

[0102] Somit wird in der Anordnung der **Fig. 7** bis 10 die Drehung um jede der Achsen 102, 103 mittels zweier mehrpoliger Magnetringe erfasst, denen jeweils ein Sensor zugeordnet ist. Jeder Sensor erzeugt ein Multibit-Signal, das die relative Position der nächstgelegenen Pole auf dem jeweiligen Ring zu dem Sensor darstellt. Durch die Anordnung der Anzahl von Polen auf den zwei Ringen als teilerfremd sind die Ausgaben der Sensoren in Kombination indikativ für die Ausgestaltung des Gelenkes innerhalb eines 360°-Bereiches. Dadurch kann die Drehposition des Gelenks innerhalb dieses Bereichs ermittelt werden. Darüber hinaus sind in der Anordnung der **Fig. 7** bis 10 die zwei jedem Gelenk zugeordneten Ringe (d. h. die Ringe 200, 201 auf der einen Seite und die Ringe 210, 211 auf der anderen Seite) derart angeordnet, dass sie entlang der Achse des jeweiligen Gelenks im Wesentlichen voneinander versetzt sind. Der Ring 200 ist in der Nähe des Lagers 190 auf einer Seite des Körpers des Trägers 104 angeordnet, während der Ring 201 in der Nähe des Lagers 105 auf der gegenüberliegenden Seite des Trägers 104 angeordnet ist. Der Ring 210 ist auf einer Seite des Flansches 220 angeordnet, während der Ring 211 auf der anderen Seite des Flansches 220 angeordnet ist. Jeder Ring besteht aus einer Materialplatte, die in einer Ebene senkrecht zu der Achse, um die der Ring angeordnet ist, flach ist. Die Magnetringe jedes Paares (d. h. die Ringe 200, 201 auf der einen Seite und die Ringe 210, 211 auf der anderen Seite) sind in

Richtung entlang ihrer jeweiligen Achsen um einen Abstand voneinander beabstandet, der größer als das 5fache und vorzugsweise größer als das 10fache oder größer als das 20fache der Dicke der Ringe des Paares ist. Zweckmäßigerweise können sich die Ringe eines Paares auf gegenüberliegenden Seiten des jeweiligen Gelenks befinden, wie bei den Ringen 200, 201. Zweckmäßigerweise erstreckt sich der Träger 104, an dem die beiden Ringe eines Paares befestigt sind, radial nach außen, sodass er an einer radialen Stelle liegt, die sich in einer Ebene mit der jeweiligen Drehachse gesehen zwischen den Ringen befindet. So liegt beispielsweise der Flansch 220 radial zwischen den Ringen 210 und 211. Zweckmäßigerweise kann das jeweilige Gelenk von zwei Lagern getragen oder definiert werden, eines auf jeder Seite des Gelenks entlang der jeweiligen Achse und an extremen Stellen des Gelenks, und der oder jeder Ring für dieses Gelenk kann ein jeweiliges der Lager in einer Ebene senkrecht zu der Achse überlappen. Zweckmäßigerweise können die Sensoren für die Ringe an einem Armteil montiert sein, das durch das Gelenk artikuliert wird. Die Sensoren können auf gegenüberliegenden Seiten des Armteils montiert sein.

[0103] Durch die Beabstandung der Ringe kann die Verpackung des Gelenks und/oder des Armteils, in dem die zugehörigen Sensoren montiert sind, erheblich verbessert werden. Der Abstand zwischen den Ringen bietet mehr Möglichkeiten, die Ringe an einer zweckmäßigen Stelle zu platzieren, und ermöglicht es, die Sensoren voneinander zu beabstanden, was wiederum Verpackungsvorteile bereitstellen kann. Vorzugsweise ist das Gelenk im Vergleich zu der Anzahl der Magnetpole auf den Ringen so steif, dass eine Torsion des Gelenks unter Last die Messung nicht nachteilig beeinträchtigt. So ist es beispielsweise bevorzugt, dass das Gelenk ausreichend steif ist, sodass sich die Elemente des Gelenks unter ihrer maximalen Betriebslast nicht so stark verdrehen können, dass es zu einer Änderung der Reihenfolge der magnetischen Übergänge an den Sensoren kommen kann, auch wenn diese voneinander beabstandet sind. Dies ermöglicht es, neben der Bewegung auch die Richtung für alle Lastzustände zu erkennen.

[0104] Der Armteil 311 ist distal von dem Armteil 310. Der Armteil 310 ist proximal des Gelenks um die in den **Fig. 7** bis 10 dargestellten Achsen 102 und 103. Wie mit Bezug auf **Fig. 1** erläutert, werden die Daten der Drehmomentsensoren und der Positionssensoren an die Steuereinheit 10 zurückgegeben. Es ist wünschenswert, dass diese Daten über kabelgebundene Verbindungen, die durch den Arm selbst verlaufen, weitergeleitet werden.

[0105] Jeder Armteil umfasst eine Leiterplatte. Die **Fig. 7** bis 10 stellen eine von einem Armteil 311

getragene Leiterplatte 250 dar. Jede Leiterplatte beinhaltet einen Datenkodierer/-dekodierer (z. B. integrierte Schaltung 251). Der Kodierer/Dekodierer wandelt Signale zwischen den lokal in dem jeweiligen Armteil verwendeten Formaten und einem für die Datenübertragung entlang des Arms verwendeten Format um. Beispielsweise: (a) lokal zu dem Armteil können die Positionssensoren, während sie von den magnetischen Polübergängen passiert werden, Positionsmesswerte zurückgeben, der Drehmomentsensor kann ein analoges oder digitales Signal zurückgeben, das das aktuell erfasste Drehmoment angibt, und die Antriebsmotoren können ein pulsbreitenmoduliertes Antriebssignal erfordern; wohingegen (b) für die Datenübertragung entlang des Arms ein allgemeines Datenübertragungsprotokoll, das ein Paketdatenprotokoll wie Ethernet sein kann, verwendet werden kann. Auf diese Weise können die Kodierer/Dekodierer Datenpakete empfangen, die von der Steuereinheit 10 entlang des Arms übertragen werden, und deren Daten interpretieren, um Steuersignale für einen beliebigen lokalen Motor zu bilden, und sie können lokal erfasste Daten empfangen und sie in eine paketierte Form für die Übertragung an die Steuereinheit umwandeln. Die Leiterplatten entlang des Arms können durch Kommunikationskabel miteinander verkettet sein, sodass die Kommunikation von einer relativ distalen Platte über die proximaleren Platten erfolgt.

[0106] Im Allgemeinen ist es wünschenswert, keine Daten von einer Komponente des Arms an eine distalere Komponente des Arms weiterzuleiten. Dies würde erfordern, dass Kabel unnötig distal in dem Arm verlaufen, wodurch sich das distal verteilte Gewicht erhöht; und da die Leiterplatten miteinander verkettet sind, wird, sobald Daten an eine relativ distale Platte gesendet wurden, die nächstgelegene Platte die Daten ohnehin verarbeiten, um sie weiterzuleiten.

[0107] Das Verbundgelenk um die Achsen 102, 103 weist Drehpositionssensoren 202, 203 (für die Drehung um die Achse 102) und 212 (für die Drehung um die Achse 103) auf. Die Sensoren 202, 203 sind an dem Rahmen 100 des Armteils 310 montiert, der sich proximal des Gelenks befindet, dessen Bewegung von dem Sensor gemessen wird. Die Daten der Positionssensoren 202, 203 werden über Kabel 204, 205, die entlang des Armteils 310 proximal der Sensoren verlaufen, geleitet. Der Sensor 202 ist an dem Rahmen 101 des Armteils 311 montiert. Die Daten des Positionssensors 202 werden über ein Kabel zu der Leiterplatte 250 auf demselben Armteil geleitet. In jedem Fall werden die Daten nicht an ein distaleres Element des Arms weitergeleitet als an das, an dem die Daten erfasst wurden.

[0108] Das Verbundgelenk um die Achsen 102, 103 weist Drehmomentsensoren 150 (für die Drehung

um die Achse 103) und 191 (für die Drehung um die Achse 102) auf. Die von den Drehmomentsensoren 150, 191 erfassten Daten werden in nativer Form über flexible Kabel zu der Leiterplatte 250 übertragen. Auf der Leiterplatte 250 kodiert der Kodierer/Dekodierer 251 die erfassten Daten, z. B. in Ethernet-Pakete, und überträgt sie an die Steuereinheit 10. Die Daten der Drehmomentsensoren werden daher nicht zur Kodierung an die Leiterplatte des proximaleren Armteils 310, sondern zur Kodierung an die Leiterplatte des distaleren Armteils weitergeleitet und dann von dieser Leiterplatte aus über Kabel in distaler Richtung entlang des Arms weitergeleitet.

[0109] Diese Anordnung ist in **Fig. 11** veranschaulicht. Der Armteil 310 umfasst eine Leiterplatte 195, die Daten von dem Positionssensor 202 empfängt und Befehlsdaten an die Motoren 109, 110 bereitstellt. Der Armteil 311 umfasst eine Leiterplatte 250, die Daten von dem Positionssensor 212 und den Drehmomentsensoren 150, 191 empfängt. Die Leiterplatte 250 kodiert diese erfassten Daten und gibt sie über einen Datenbus 196 an die Leiterplatte 195 weiter, die sie über eine Verbindung 197 an die Steuereinheit 10 weiterleitet. Der Positionssensor 202 ist über ein Kabel direkt mit der Leiterplatte 195 verbunden. Der Positionssensor 212 und die Drehmomentsensoren 150, 191 sind über Kabel direkt mit der Leiterplatte 195 verbunden.

[0110] Wie in **Fig. 2** veranschaulicht, wird der Armteil 4c von dem Armteil 311 getragen und kann relativ zu dem Armteil 4c um die Achse 307 gedreht werden. **Fig. 12** stellt einen Querschnitt durch ein Modul dar, das den Armteil 4c umfasst. Das Modul weist eine Basis 400 und eine Seitenwand 440 auf, die fest mit der Basis verbunden ist. Die Basis 400 ist an der Endfläche 401 des distalen Endes des Armteils 311 befestigt. (Siehe **Fig. 7**). Der Armteil 4c ist allgemein mit 403 bezeichnet. Der Armteil 4c ist relativ zu der Basis um eine Achse 402 drehbar, die der Achse 307 der **Fig. 2** entspricht. Zu diesem Zweck ist der Armteil 4c über Lager 430, 431, die ein Drehgelenk zwischen der Seitenwand 440 und dem Armteil 4c um die Achse 402 definieren, an der Seitenwand 440 montiert.

[0111] Der Armteil 4c weist ein Gehäuse 404 auf, in dem seine internen Komponenten untergebracht sind. Diese Komponenten beinhalten eine Leiterplatte 405 und Motoren 406, 407. Die Motoren 406, 407 sind fest mit dem Gehäuse 404 verbunden, sodass sie sich relativ zu diesem nicht drehen können. Das Gehäuse 404 ist mittels der Lager 430, 431 relativ zu der Basis 400 frei drehbar. Durch das Innere des Moduls verläuft ein Kanal 408 zur Aufnahme eines Kommunikationskabels (nicht dargestellt), das von der Leiterplatte 250 zu der Leiterplatte 405 verläuft. Das Kommunikationskabel überträgt Signale, die, wenn sie von einem Kodierer/Dekodierer

rer der Leiterplatte 405 dekodiert werden, bewirken, dass dieser Steuersignale zur Steuerung des Betriebs der Motoren 406, 407 ausgibt.

[0112] Der Motor 406 treibt die Drehung des Armteils 4c relativ zu dem Armteil 311 an. Somit treibt der Motor 406 die Drehung des Gehäuses 404 relativ zu der Basis 400 an. Die Basis 400 weist einen zentralen Vorsprung 410 auf. An dem Vorsprung 410 ist ein Drehmomentsensor befestigt, der im Allgemeinen der in den **Fig. 9** und **10** beschriebenen Art entspricht. Der Drehmomentsensor weist ein integriertes Element auf, das eine Basis 411, ein Torsionsrohr 412 und einen sich radial erstreckenden Kopf 413 umfasst. Die Basis 411 des Drehmomentsensors ist fest mit dem Vorsprung 410 der Basis 400 verbunden. Wie bei dem Drehmomentsensor der **Fig. 9** und **10** erstreckt sich eine Hülse 421 um das Torsionsrohr des Drehmomentsensors, um es vor Scherkräften zu schützen und die Reibung zwischen ihm und der umgebenden Komponente, d. h. der Basis 400, zu verringern.

[0113] Ein innenverzahntes Zahnrad 420 ist fest mit dem Kopf 413 des Drehmomentsensors verbunden. Der Motor 406 treibt eine Welle 414 an, die ein Ritzelzahnrad 415 trägt. Das Ritzelzahnrad 415 greift in das Innenzahnrad 420 ein. Somit treibt der Motor 406 bei seinem Betrieb das Ritzelzahnrad 415 zur Drehung an, was eine Drehung des Armteils 4c, von dem der Motor 406 ein Teil ist, um die Achse 402 bewirkt. Das sich daraus ergebende Drehmoment um die Achse 402 wird durch das Torsionsrohr 412 des Drehmomentsensors auf die Basis 400 übertragen, sodass dieses Drehmoment durch an dem Torsionsrohr befestigte Dehnungsmessstreifen gemessen werden kann.

[0114] Die Schnittstelle 8 zur Befestigung an einem Instrument ist in **Fig. 12** dargestellt. Die Welle 440 des Motors 407 liegt an der Schnittstelle frei, um einen Antrieb für ein Instrument bereitzustellen.

[0115] Die Drehmomentdaten des Drehmomentsensors 411, 412, 413 werden zur Kodierung an die Leiterplatte 250 an dem Armteil 311 weitergeleitet. Die Drehposition des Armteils 4c kann von einem Sensor 445 erfasst werden, der von dem Armteil 4c getragen wird und der die Übergänge zwischen den Magnetpolen an den Ringen 446, 447 erkennt, die im Inneren des Gehäuses 404 montiert sind. Die Daten des Sensors 445 werden zur Kodierung an die Leiterplatte 405 des Armteils 4c weitergeleitet.

[0116] Die Motoren, die die Drehung um die Gelenke 102 und 103 antreiben, sind proximal von diesen Gelenken in dem Armteil 310 montiert. Wie vorstehend erläutert verbessert dies die Gewichtsverteilung, indem vermieden wird, dass das Gewicht näher an das distale Ende des Arms verlagert wird.

Im Gegensatz dazu ist der Motor, der die Drehung des Armteils 4c antreibt, in dem Armteil 4c und nicht in dem Armteil 311 montiert. Obwohl dies als nachteilig angesehen werden könnte, da es erforderlich ist, den Motor 406 distaler zu montieren, hat sich gezeigt, dass der Armteil 311 dadurch besonders kompakt ist. Der Motor 406 kann in dem Armteil 4c parallel zu dem/den Motor(en) (z. B. 407) verpackt werden, der/die den Antrieb des Instruments bereitstellt/bereitstellen: d. h. derart, dass sich die Motoren in einer gemeinsamen Ebene senkrecht zu der Achse 402 schneiden. Das bedeutet, dass der Einbau des Motors 406 in den Armteil 4c den Armteil 4c nicht wesentlich verlängern muss.

[0117] Anstelle von verzahnten Zahnrädern könnte der Antrieb der Gelenke durch Reibung erfolgen.

[0118] Der Anmelder offenbart hiermit isoliert jedes einzelne hierin beschriebene Merkmal und jedwede Kombination von zwei oder mehr solcher Merkmale, soweit solche Merkmale oder Kombinationen basierend auf der vorliegenden Beschreibung als Ganzes im Lichte des allgemeinen Wissens von Fachleuten ausgeführt werden können, unabhängig davon, ob solche Merkmale oder Kombinationen von Merkmalen die hierin offenbarten Probleme lösen, und ohne Einschränkung des Umfangs der Ansprüche. Der Anmelder weist darauf hin, dass Aspekte der vorliegenden Erfindung aus jedem dieser einzelnen Merkmale oder einer Kombination von Merkmalen bestehen können. In Anbetracht der vorstehenden Beschreibung wird es für einen Fachmann offensichtlich sein, dass verschiedene Modifikationen im Rahmen der Erfindung vorgenommen werden können.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- GB 2014/053523 [0002, 0035]

Schutzansprüche

1. Roboterarm, umfassend einen Gelenkmechanismus zum Artikulieren eines Gliedes des Arms relativ zu einem anderen Glied des Arms um zwei nicht parallele Drehachsen, wobei der Mechanismus umfasst:

einen Zwischenträger, der an einem ersten der Glieder durch ein erstes Drehgelenk mit einer ersten Drehachse und an einem zweiten der Glieder durch ein zweites Drehgelenk mit einer zweiten Drehachse befestigt ist;

ein erstes Antriebszahnrad, das auf der ersten Drehachse angeordnet ist, wobei das erste Antriebszahnrad fest mit dem Träger verbunden ist;

ein zweites Antriebszahnrad, das um die zweite Drehachse angeordnet ist, wobei das zweite Antriebszahnrad fest mit dem zweiten der Glieder verbunden ist;

eine erste Antriebswelle zum Antreiben des ersten Antriebszahnrad zum Drehen um die erste Drehachse, wobei sich die erste Antriebswelle entlang des ersten der Glieder erstreckt und ein erstes Wellenzahnrad darauf aufweist, wobei das erste Wellenzahnrad zum Eingriff in das erste Antriebszahnrad angeordnet ist;

eine zweite Antriebswelle zum Antreiben des zweiten Antriebszahnrad zum Drehen um die zweite Drehachse, wobei sich die zweite Antriebswelle entlang des ersten der Glieder auf einer ersten Seite einer Ebene erstreckt, die die zweite Drehachse enthält, und sich durch diese Ebene zu der zweiten Seite dieser Ebene erstreckt; und

ein Zwischengestänge, das mit der zweiten Antriebswelle auf der zweiten Seite der Ebene in Eingriff steht und das zweite Wellenzahnrad mit dem zweiten Antriebszahnrad koppelt.

2. Roboterarm nach Anspruch 1, wobei die zweite Welle ein flexibles Element umfasst.

3. Roboterarm nach Anspruch 2, wobei das flexible Element auf der ersten Drehachse angeordnet ist.

4. Roboterarm nach Anspruch 2 oder 3, wobei das flexible Element ein Kreuzgelenk ist.

5. Roboterarm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die zweite Welle über ein Drehgelenk auf der zweiten Seite der genannten Ebene mit dem Träger gekoppelt ist.

6. Roboterarm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die zweite Antriebswelle ein zweites Wellenzahnrad auf der zweiten Seite dieser Ebene aufweist und das Zwischengestänge eine Zwischenwelle mit einem ersten Zwischenzahnrad, das mit dem zweiten Wellenzahnrad ineinandergreift, und einem zweiten Zwischenzahnrad, das

mit dem zweiten Antriebszahnrad ineinandergreift, umfasst.

7. Roboterarm, umfassend einen Gelenkmechanismus zum Artikulieren eines Gliedes des Arms relativ zu einem anderen Glied des Arms um zwei nicht parallele Drehachsen, wobei der Mechanismus umfasst:

einen Zwischenträger, der an einem ersten der Glieder durch ein erstes Drehgelenk mit einer ersten Drehachse und an einem zweiten der Glieder durch ein zweites Drehgelenk mit einer zweiten Drehachse befestigt ist;

ein erstes Antriebszahnrad, das auf der ersten Drehachse angeordnet ist, wobei das erste Antriebszahnrad fest mit dem Träger verbunden ist;

ein zweites Antriebszahnrad, das um die zweite Drehachse angeordnet ist, wobei das zweite Antriebszahnrad fest mit dem zweiten der Glieder verbunden ist;

eine erste Antriebswelle zum Antreiben des ersten Antriebszahnrad zum Drehen um die erste Drehachse, wobei sich die erste Antriebswelle entlang des ersten der Glieder erstreckt und ein erstes Wellenzahnrad darauf aufweist, wobei das erste Wellenzahnrad zum Eingriff in das erste Antriebszahnrad angeordnet ist;

eine zweite Antriebswelle zum Antreiben des zweiten Antriebszahnrad zum Drehen um die zweite Drehachse, wobei sich die zweite Antriebswelle entlang des ersten der Glieder erstreckt und ein zweites Wellenzahnrad darauf aufweist, wobei das zweite Wellenzahnrad zum Eingriff in das zweite Antriebszahnrad angeordnet ist;

wobei die zweite Antriebswelle ein Schubgelenk umfasst, wodurch die Länge der Welle in Reaktion auf die Bewegung des Trägers um die erste Achse variieren kann.

8. Roboterarm nach Anspruch 7, wobei das Schubgelenk eine Gleitverzahnungskopplung ist.

9. Roboterarm nach Anspruch 7 oder Anspruch 8, wobei die zweite Antriebswelle ein erstes flexibles Gelenk auf einer Seite des Schubgelenks und ein zweites flexibles Gelenk auf der anderen Seite des Schubgelenks umfasst.

10. Roboterarm nach Anspruch 9, wobei die zweite Antriebswelle durch ein Drehgelenk mit dem Träger auf der dem Schubgelenk gegenüberliegenden Seite des zweiten flexiblen Gelenks verbunden ist.

11. Roboterarm, nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eines oder beide der ersten Antriebszahnrad/er Kegelzahnrad/er sind.

12. Roboterarm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eines oder beide der ersten Antriebszahnräder Schrägachsenzahnräder sind.

13. Roboterarm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste Antriebszahnrad ein teilkreisförmiges Zahnrad ist und wobei zumindest ein Teil des zweiten Antriebszahnrads einen Kreis um die erste Achse schneidet, der mit dem radial äußersten Teil des ersten Antriebszahnrads zusammenfällt.

14. Roboterarm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste und die zweite Achse orthogonal sind.

15. Roboterarm nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste und die zweite Achse einander schneiden.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

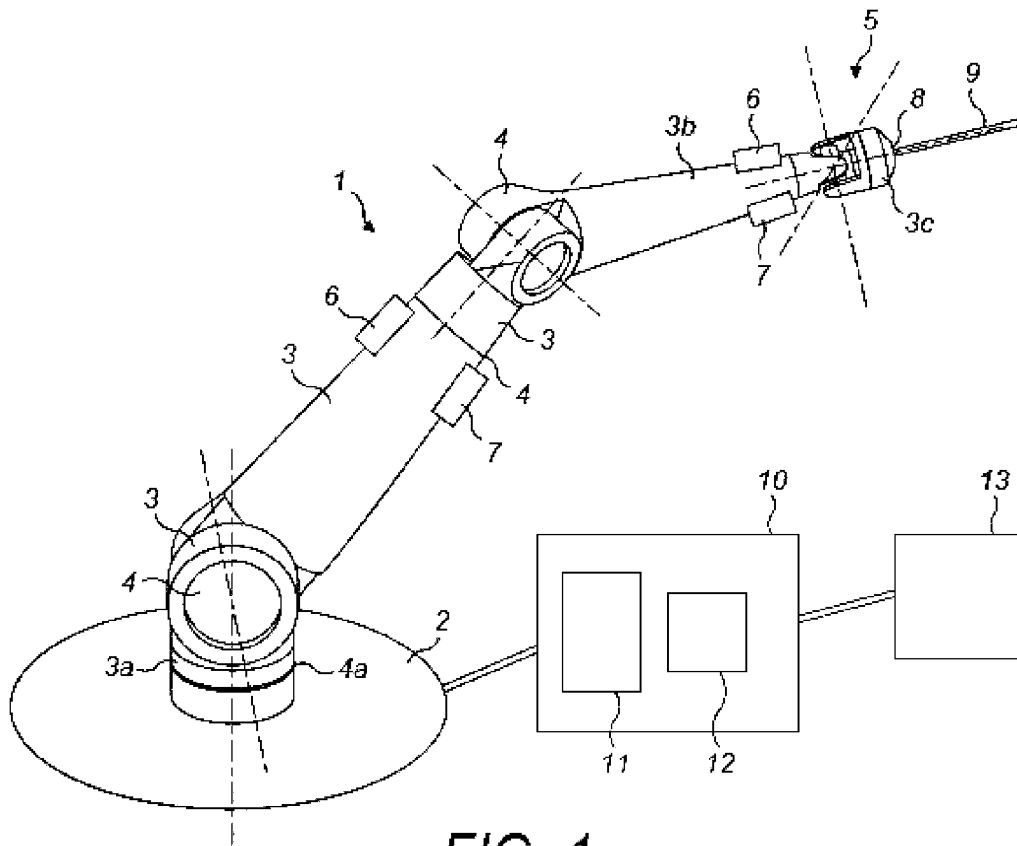


FIG. 1

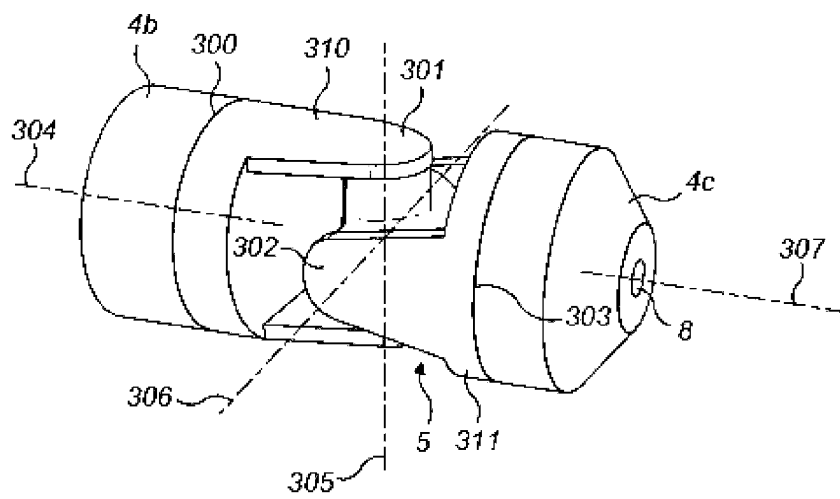


FIG. 2

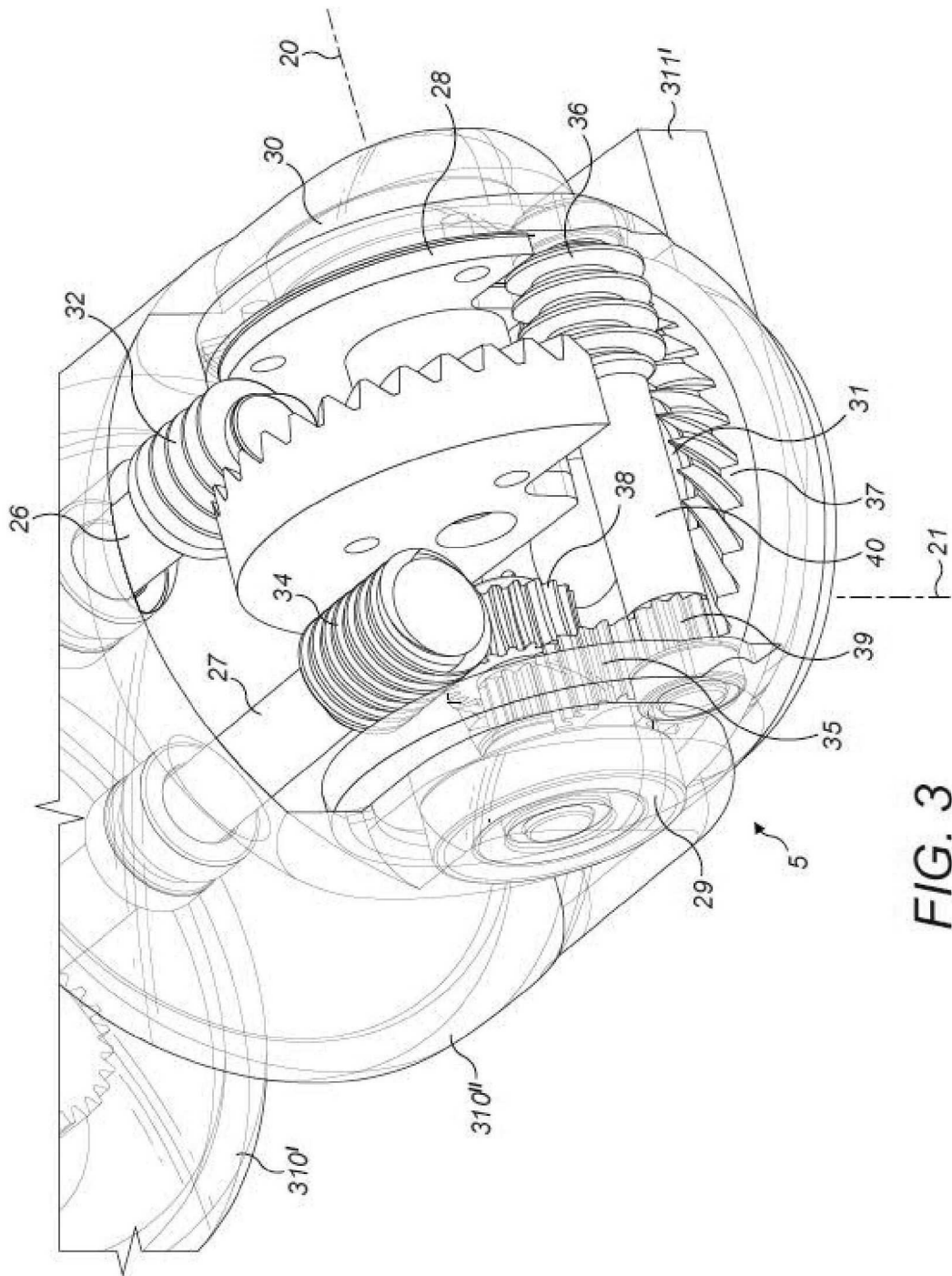


FIG. 3

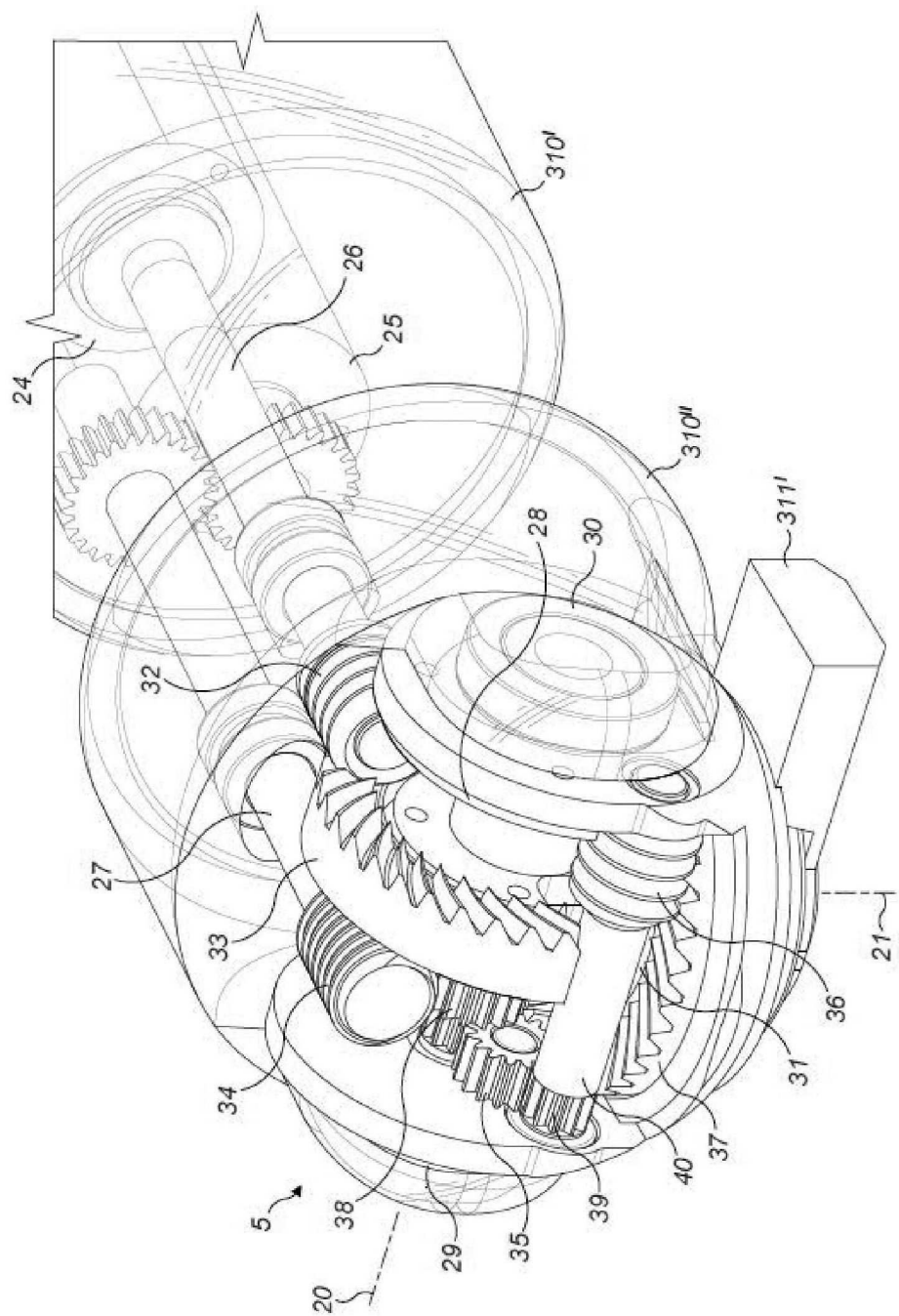


FIG. 4

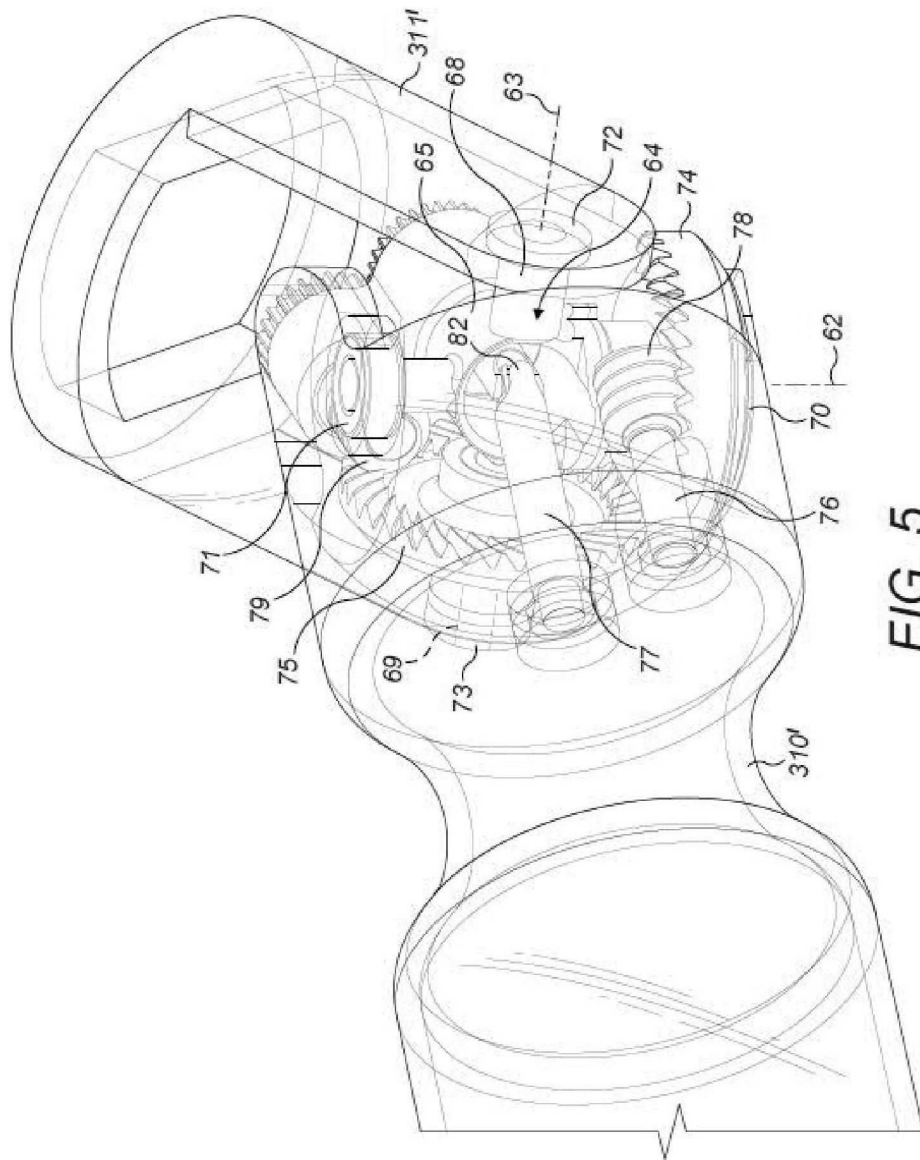


FIG. 5

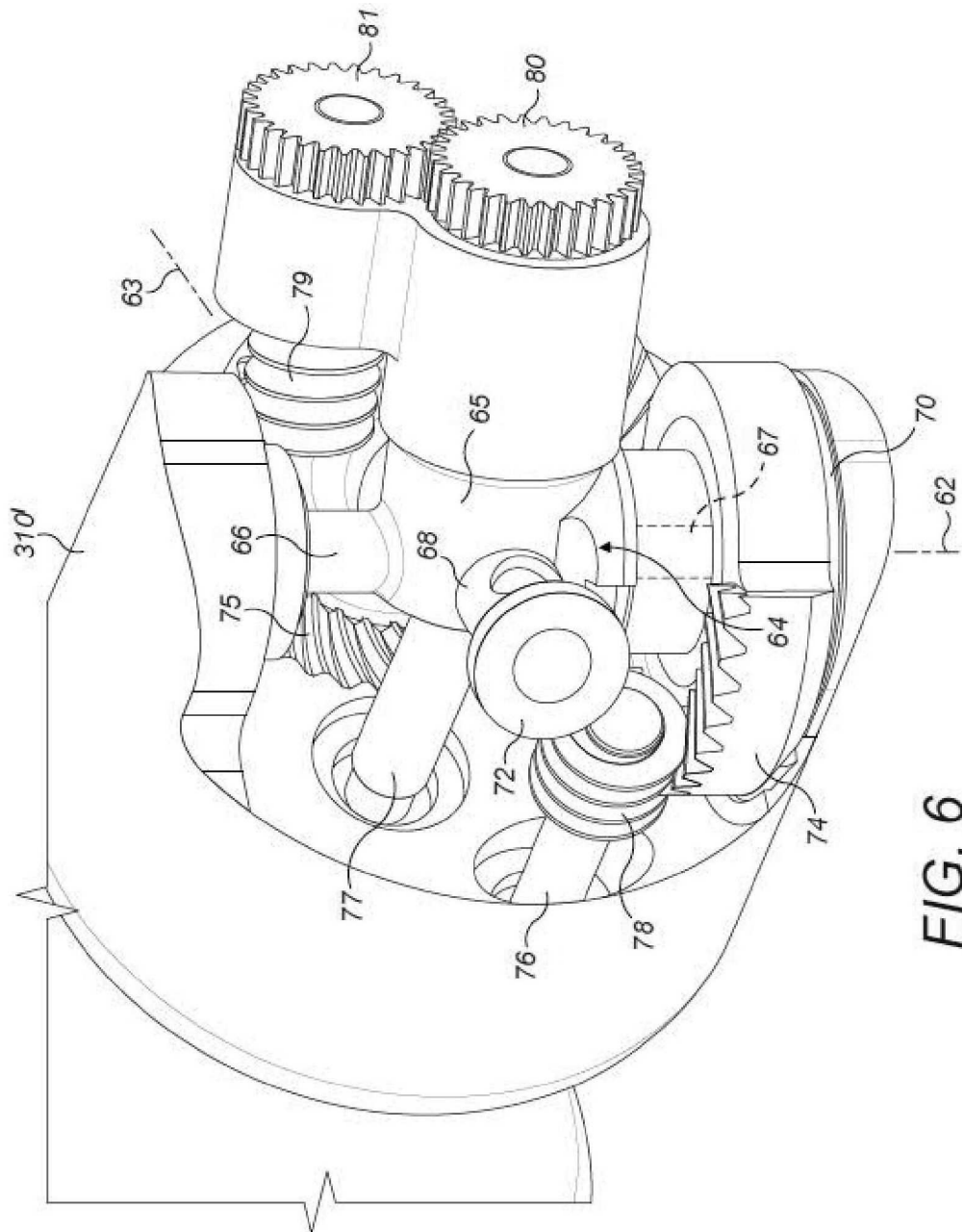


FIG. 6

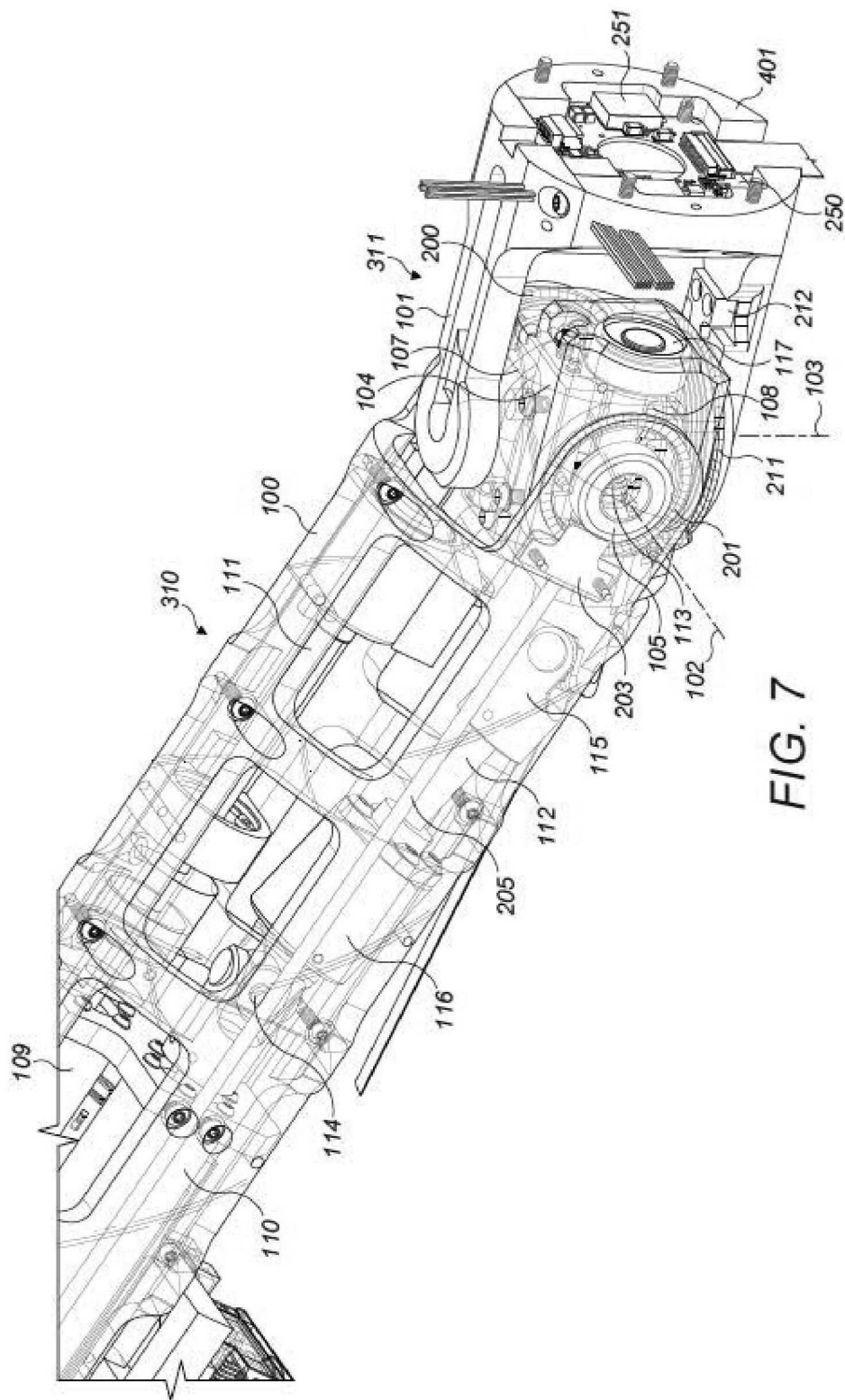


FIG. 7

