



(10) **DE 10 2010 045 532 B4** 2013.01.17

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 045 532.6**

(22) Anmeldetag: **15.09.2010**

(43) Offenlegungstag: **19.05.2011**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **17.01.2013**

(51) Int Cl.: **B25J 15/12 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:

12/564,085 22.09.2009 US

(73) Patentinhaber:

**GM Global Technology Operations LLC (n. d.
Ges. d. Staates Delaware), Detroit, Mich., US; The
U.S.A. as Represented by the Administrator of the
National Aeronautics and Space Administration,
Washington, D.C., US**

(74) Vertreter:

**Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336,
München, DE**

(72) Erfinder:

**Ihrke, Chris A., Hartland, Mich., US; Bridgwater,
Lyndon, Houston, Tex., US; Platt, Robert,
Houston, Tex., US; Wampler II, Charles W.,
Birmingham, Mich., US; Goza, S. Michael, League
City, Tex., US**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US	7 407 208	B2
US	2001 / 0 028 174	A1
US	2006 / 0 158 146	A1
US	2007 / 0 236 162	A1
EP	1 829 650	A1
JP	2004 090 193	A

(54) Bezeichnung: **Roboterdaumenanordnung**

(57) Hauptanspruch: Roboterhandanordnung (18), die umfasst:

eine Basisstruktur (34);

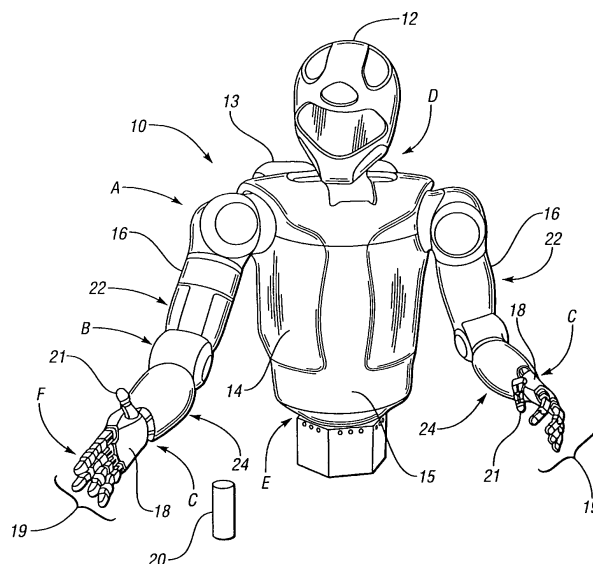
erste (38A), zweite (38B), dritte (38C) und vierte (38D) Fingerglieder;

ein erstes Gelenk (42A), welches das erste Fingerglied (38A) mit der Basisstruktur (34) auf funktionale Weise derart verbindet, dass das erste Fingerglied (38A) mit Bezug auf die Basisstruktur (34) um eine erste Achse (A1) selektiv drehbar ist;

ein zweites Gelenk (42B), welches das zweite Fingerglied (38B) mit dem ersten Fingerglied (38A) auf funktionale Weise derart verbindet, dass das zweite Fingerglied (38B) mit Bezug auf das erste Fingerglied (38A) um eine zweite Achse (A2) selektiv drehbar ist;

ein drittes Gelenk (42C), welches das dritte Fingerglied (38C) mit dem zweiten Fingerglied (38B) auf funktionale Weise derart verbindet, dass das dritte Fingerglied (38C) mit Bezug auf das zweite Fingerglied (38B) um eine dritte Achse (A3) selektiv drehbar ist; und

ein viertes Gelenk (42D), welches das vierte Fingerglied (38D) mit dem...



Beschreibung

[0001] Diese Erfindung wurde mit Regierungsunterstützung unter dem NASA Space Act Agreement mit der Nummer SAA-AT-07-003 durchgeführt. Die Regierung kann einige Rechte an der Erfindung besitzen.

TECHNISCHES GEBIET

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft Roboterhände und insbesondere Roboterdaumen.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0003] Typische Roboter sind automatisierte Einrichtungen, die zur Manipulation von Objekten unter Verwendung einer Reihe von starren Gliedern in der Lage sind, welche wiederum über Gelenkverbindungen oder motorgetriebene Robotergerlenke miteinander verbunden sind. Jedes Gelenk in einem typischen Roboter stellt eine unabhängige Steuerungsvariable dar, die auch als ein Freiheitsgrad (DOF) bezeichnet wird. Greiforgane sind die speziellen Glieder, die zum Ausführen einer anstehenden Aufgabe verwendet werden, z. B. zum Ergreifen eines Arbeitswerkzeugs oder eines Objekts. Daher kann eine präzise Bewegungssteuerung eines Roboters durch die Ebene der Aufgabenbeschreibung gegliedert sein: eine Steuerung auf Objektebene, d. h. die Fähigkeit zur Steuerung des Verhaltens eines Objekts, das in einem Einzelgriff oder einem zusammenwirkenden Griff eines Roboters gehalten wird, eine Greiforgansteuerung, und eine Steuerung auf Gelenkebene. Die verschiedenen Steuerungsebenen arbeiten zusammen, um gemeinsam die erforderliche Mobilität, Geschicklichkeit und arbeitsaufgabenbezogene Funktionalität des Roboters zu erreichen.

[0004] Humanoide Roboter sind insbesondere Roboter, die eine annähernd menschliche Gestalt oder ein annähernd menschliches Erscheinungsbild aufweisen, sei es ein vollständiger Körper, ein Torso und/oder eine Gliedmaße, wobei die strukturelle Komplexität des humanoiden Roboters zu einem großen Teil von dem Wesen der Arbeitsaufgabe abhängt, die ausgeführt wird. Die Verwendung humanoider Roboter kann dort bevorzugt sein, wo eine direkte Interaktion mit Einrichtungen oder Systemen benötigt wird, die speziell für den menschlichen Gebrauch hergestellt sind. Aufgrund des weiten Spektrums von Arbeitsaufgaben, die möglicherweise von einem humanoiden Roboter erwartet werden, können unterschiedliche Steuerungsmodi gleichzeitig benötigt werden. Zum Beispiel muss eine präzise Steuerung in den verschiedenen vorstehend angegebenen Räumen sowie eine Kontrolle über das angewandte Drehmoment oder die angewandte Kraft, die Bewegung und die verschiedenen Grifftypen angewendet werden.

[0005] US 2001/0 028 174 A1 offenbart eine Roboterhandvorrichtung mit mehreren Fingern, die jeweils mehrere durch Gelenke verbundene Glieder umfassen, wobei die Glieder durch Aktuatoren bewegt werden, die in den Gliedern angeordnet sind.

[0006] In US 2006/0 158 146 A1 ist eine Roboterhand mit mehreren Fingern gezeigt, wobei einzelne Fingerglieder über Sehnen von Aktuatoren gesteuert werden, die in der Hand angeordnet sind.

[0007] US 7 407 208 B2 offenbart eine Roboterhand, bei der zwischen Fingergliedern der Roboterhand angeordnete Gelenke über Sehnen von Aktuatoren betätigt werden.

[0008] In JP 2004 090 193 A sind ein Aktuator und eine Handvorrichtung offenbart, bei denen sich gebogene Finger aus einem elastischen Material mit einem darin angeordneten flexiblen Röhrchen durch Zufuhr einer Flüssigkeit in das Röhrchen hinein strecken.

[0009] EP 1 829 650 A1 offenbart eine Roboterhand, bei der alle Fingerglieder eines Fingers oder Daumens unter Verwendung eines einzigen Motors bewegt werden.

[0010] In US 2007/0 236 162 A1 ist eine Roboterhand offenbart, bei der ein Motor, der in ein Fingermittelglied eingebaut ist, zum Bewegen eines damit verbundenen Fingerspitzenglieds verwendet wird.

[0011] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine möglichst kompakte Roboterhandanordnung bereitzustellen, die eine unabhängige Steuerung eines Drehmoments an allen Fingergelenken eines Daumens der Roboterhandanordnung ermöglicht.

[0012] Diese Aufgabe wird durch die Roboterhandanordnung gemäß Anspruch 1 gelöst.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0013] Gemäß einem erster Aspekt der Offenbarung umfasst eine Roboterhandanordnung eine Basisstruktur, erste, zweite, dritte und vierte Fingerglieder und erste, zweite, dritte und vierte Gelenke. Das erste Gelenk verbindet das erste Fingerglied auf funktionale Weise derart mit der Basisstruktur, dass das erste Fingerglied mit Bezug auf die Basisstruktur um eine erste Achse selektiv drehbar ist. Das zweite Gelenk verbindet das zweite Fingerglied auf funktionale Weise derart mit dem ersten Fingerglied, dass das zweite Fingerglied mit Bezug auf das erste Fingerglied um eine zweite Achse selektiv drehbar ist. Das dritte Gelenk verbindet das dritte Fingerglied auf funktionale Weise derart mit dem zweiten Fingerglied, dass das dritte Fingerglied mit Bezug auf das zweite Fingerglied um eine dritte Achse selektiv drehbar ist.

Das vierte Gelenk verbindet das vierte Fingerglied auf funktionale Weise derart mit dem dritten Fingerglied, dass das vierte Fingerglied mit Bezug auf das dritte Fingerglied um eine vierte Achse selektiv drehbar ist.

[0014] Fünf Sehnen sind mit den Fingergliedern funktional verbunden, um darauf selektiv eine Kraft auszuüben und dadurch ein Drehmoment an den Gelenken zu erzeugen. Die Sehnen sind derart ausgestaltet, dass das Drehmoment an jedem der ersten, zweiten, dritten und vierten Gelenke durch die fünf Sehnen unabhängig steuerbar ist.

[0015] Die ersten vier Sehnen sind an einer ersten Seite der zweiten Achse derart verlegt, dass die Spannung in diesen vier Sehnen aufsummiert wird, um ein Greifmoment am zweiten Gelenk zu maximieren. Zudem ist die fünfte Sehne an einer zweiten Seite der zweiten Achse gegenüber der ersten Seite der zweiten Achse so verlegt, dass sie den ersten vier Sehnen zum Öffnen des zweiten Gelenks entgegenwirkt.

[0016] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung umfasst eine Roboterhandanordnung eine Basisstruktur, erste, zweite, dritte und vierte Fingerglieder und erste, zweite, dritte und vierte Gelenke. Das erste Gelenk verbindet das erste Fingerglied auf funktionale Weise derart mit der Basisstruktur, dass das erste Fingerglied mit Bezug auf die Basisstruktur um eine erste Achse selektiv drehbar ist. Das zweite Gelenk verbindet das zweite Fingerglied auf funktionale Weise derart mit dem ersten Fingerglied, dass das zweite Fingerglied mit Bezug auf das erste Fingerglied um eine zweite Achse selektiv drehbar ist. Das dritte Gelenk verbindet das dritte Fingerglied auf funktionale Weise derart mit dem zweiten Fingerglied, dass das dritte Fingerglied mit Bezug auf das zweite Fingerglied um eine dritte Achse selektiv drehbar ist. Das vierte Gelenk verbindet das vierte Fingerglied auf funktionale Weise derart mit dem dritten Fingerglied, dass das vierte Fingerglied mit Bezug auf das dritte Fingerglied um eine vierte Achse selektiv drehbar ist. Die dritte und vierte Achse verlaufen im Wesentlichen parallel zueinander. Das zweite Fingerglied ist durch eine Verdrehung derart gekennzeichnet, dass die zweite Achse zu der dritten und vierten Achse nicht parallel verläuft. Die Verdrehung ersetzt einen der fünf Freiheitsgrade einer menschlichen Hand durch die Verdrehung in der Gestalt des zweiten Fingerglieds.

[0017] Die vorstehenden Merkmale und Vorteile und andere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich leicht aus der folgenden genauen Beschreibung der besten Arten zum Ausführen der Erfindung, wenn sie in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen gelesen wird.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0018] [Fig. 1](#) ist eine schematische perspektivische Veranschaulichung eines geschickten humanoiden Roboters mit zwei Händen;

[0019] [Fig. 2](#) ist eine schematische perspektivische Veranschaulichung eines Oberarms für den geschickten humanoiden Roboter von [Fig. 1](#);

[0020] [Fig. 3](#) ist eine schematische perspektivische Veranschaulichung eines Unterarms für den geschickten humanoiden Roboter von [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#);

[0021] [Fig. 4](#) ist eine schematische Draufsicht auf eine der Hände von [Fig. 1](#);

[0022] [Fig. 5](#) ist eine schematische Ansicht von unten der Hand von [Fig. 4](#);

[0023] [Fig. 6](#) ist eine schematische perspektivische Ansicht eines Daumens der Hand von [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#);

[0024] [Fig. 7](#) ist eine weitere schematische perspektivische Ansicht eines Daumens der Hand von [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#);

[0025] [Fig. 8](#) ist noch eine weitere schematische perspektivische Ansicht eines Daumens der Hand von [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#);

[0026] [Fig. 9](#) ist eine schematische Seitenansicht einer Sensoranordnung an einem Gelenk des Daumens von [Fig. 6–Fig. 8](#);

[0027] [Fig. 10](#) ist ein Graph, der das Verhalten der Sensoranordnung von [Fig. 9](#) als eine Funktion der Drehposition des Gelenks darstellt;

[0028] [Fig. 11](#) ist eine schematische Seitenansicht des Daumens von [Fig. 6–Fig. 8](#), die eine Sehnenverlegung darstellt; und

[0029] [Fig. 12](#) ist eine schematische Draufsicht auf den Daumen von [Fig. 6–Fig. 8](#), die eine Sehnenverlegung darstellt.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORM

[0030] Mit Bezug auf die Zeichnungen, in denen gleiche Bezugszeichen in den verschiedenen Ansichten gleiche oder ähnliche Komponenten bezeichnen, zeigt [Fig. 1](#) einen geschickten humanoiden Roboter **10**, der zum Ausführen einer oder mehrerer Aufgaben mit mehreren Freiheitsgraden (DOF) ausgelegt ist.

[0031] Der humanoide Roboter **10** kann einen Kopf **12**, einen Torso **14**, eine Taille **15**, Arme **16**, Hände

18, Finger **19** und Daumen **21** umfassen, wobei die verschiedenen Gelenke darin oder dazwischen angeordnet sind. In Abhängigkeit von der speziellen Anwendung oder der beabsichtigten Verwendung des Roboters kann der Roboter **10** auch eine für die Aufgabe geeignete Halterung oder Basis (nicht gezeigt) umfassen, wie etwa Beine, Laufflächen oder eine andere bewegliche oder starre Basis. Eine Leistungsverorgung **13** kann an den Roboter **10** einstückig montiert sein, z. B. ein wiederaufladbarer Batteriestapel, der an der Rückseite des Torsos **14** mitgeführt oder getragen wird, oder eine andere geeignete Energieversorgung.

[0032] Gemäß einer Ausführungsform ist der Roboter **10** mit einer Vielzahl von unabhängig und voneinander abhängig bewegbaren Robotergelenken ausgestaltet, wie etwa, aber ohne Einschränkung mit einer Schultergelenkanordnung (Pfeil A), einer Ellenbogengelenkanordnung (Pfeil B), einer Handgelenkanordnung (Pfeil C), einer Nackengelenkanordnung (Pfeil D) und einer Taillengelenkanordnung (Pfeil E) sowie mit den verschiedenen Finger- und Daumengelenkanordnungen (Pfeil F), die zwischen den Fingergliedern jedes Roboterfingers **19** und des Daumens **21** positioniert sind.

[0033] Der Arm **16** ist in einen Oberarm **22** und einen Unterarm (oder Vorderarm) **24** unterteilt. Der Oberarm **22** verläuft von der Schultergelenkanordnung (Pfeil A) zu der Ellenbogengelenkanordnung (Pfeil B). Vom Ellenbogengelenk (Pfeil B) weg verlaufen der Unterarm **24**, die Hände **18**, die Finger **19** und die Daumen **21**. Der Einfachheit halber verläuft, wie hier beschrieben, die Aufwärtsrichtung zum Kopf **12** hin und die Abwärtsrichtung zur Taille **15** hin. Da der Roboter **10** zur Simulation eines Humanoiden gedacht ist, wird der Fachmann feststellen, dass der Roboter entlang einer vertikalen Ebene, die den Torso und den Kopf halbiert, im Wesentlichen symmetrisch sein wird und eine im Wesentlichen identische symmetrische Struktur sowohl auf der linken als auch der rechten Seite umfassen wird.

[0034] Mit Bezug auf [Fig. 2](#) ist der Oberarm **22** veranschaulicht. Obwohl nur ein Oberarm **22** für die Arme **16** gezeigt ist, arbeiten sowohl der linke als auch der rechte Arm **16** auf die gleiche Weise, wie nachstehend beschrieben wird. Der Oberarm **22** weist eine Schultergelenkanordnung (Pfeil A) auf, die ein erstes Schultergelenk S1, das einen ersten Freiheitsgrad bereitstellt, und ein zweites Schultergelenk S2, das einen zweiten Freiheitsgrad bereitstellt, und ein drittes Schultergelenk S3 umfasst, das einen dritten Freiheitsgrad bereitstellt. Die ersten bis dritten Schultergelenke S1, S2, S3 führen zusammen die Bewegungen aus, welche die Bewegungen darstellen, die eine menschliche Schulter ausführen kann. Insbesondere bewegt eine Drehung des ersten Schultergelenks S1 um eine erste Schulterachse SA1 eine zwei-

te Schulterachse SA2 für das zweite Schultergelenk S2 in eine gewünschte Position. Auf der Grundlage der Position des ersten Schultergelenks S1 bewegt dann eine Drehung des zweiten Schultergelenks S2 um die zweite Schulterachse SA2 den Arm **16** relativ zum Torso **14** nach oben und nach unten, oder relativ zum Torso **14** nach vorne und nach hinten. Das dritte Schultergelenk S3 dreht den Oberarm **22** um eine dritte Schulterachse SA3. Eine Drehung des dritten Schultergelenks S3 dreht den Oberarm **22** axial, d. h. eine Drehung des dritten Schultergelenks S3 dreht die Ellenbogengelenkanordnung (Pfeil B) so, dass sie nach oben oder nach unten weist. Daher bilden das erste Schultergelenk S1, das zweite Schultergelenk S2 und das dritte Schultergelenk S3 zusammen die Bewegungen einer Schultergelenkanordnung (Pfeil A).

[0035] Der Oberarm **22** umfasst auch eine Ellenbogengelenkanordnung (Pfeil B), die ein erstes Ellenbogengelenk L1 und ein zweites Ellenbogengelenk L2 umfasst. Das erste Ellenbogengelenk L1 und das zweite Ellenbogengelenk L2 stellen jeweils einen Freiheitsgrad bereit. Das erste Ellenbogengelenk L1 und das zweite Ellenbogengelenk L2 führen zusammen die Bewegungen aus, welche die Bewegungen darstellen, die ein menschlicher Ellenbogen ausführen kann. Eine Drehung des ersten Ellenbogengelenks L1 um eine erste Ellenbogenachse B1 bewirkt, dass sich der Oberarm **22** unter der Ellenbogengelenkanordnung (Pfeil B) beugt und streckt. Zudem bewirkt eine Drehung des zweiten Ellenbogengelenks L2 um eine zweite Ellenbogenachse B2, dass sich der Oberarm **22** unterhalb der Ellenbogengelenkanordnung (Pfeil B) axial dreht, d. h. eine Drehung des zweiten Ellenbogengelenks L2 um die zweite Ellenbogenachse B2 dreht den Unterarm **24** und die Hand **18** ([Fig. 1](#)) so, dass die Handfläche nach oben oder nach unten weist.

[0036] [Fig. 3](#) veranschaulicht den Unterarm **24**, der die Handgelenkanordnung (Pfeil C), die Hand **18**, die Finger **19** und den Daumen **21** umfasst. Der Unterarm **24** umfasst eine Vielzahl von Fingerstellgliedern (und Daumenstellgliedern) **26** und eine Vielzahl von Handgelenkstellgliedern **28**. Außerdem sind auch eine Vielzahl von Steuerungseinrichtungen **30** für die Fingerstellglieder **26** und die Handgelenkstellglieder **28** am Unterarm **24** abgestützt. Der Unterarm **24** ist an einem Kraftaufnehmer **32** angebracht, der zur Verbindung des Unterarms **24** mit dem Oberarm **22** verwendet wird. Die Hand **18** umfasst eine Basisstruktur **34**, welche die Handfläche **36** der Hand **18** definiert. Die Finger **19** und der Daumen **21** sind an der Handflächenstruktur **34** bewegbar montiert und biegen sich selektiv zu der Handfläche **36** hin, um ein Objekt zu ergreifen, wie etwa dasjenige, das in [Fig. 1](#) bei **20** gezeigt ist.

[0037] Bei der dargestellten Ausführungsform ist der Daumen **21** proportional in eine Hand **18** eingebaut, die in der Größe mit dem sechzigsten bis fünfundachtzigsten Perzentil der männlichen Menschenhand vergleichbar ist. Insbesondere beträgt bei der dargestellten Ausführungsform die Länge der Hand **18** 20,07 cm (7,9 Zoll) (achtzigstes Perzentil eines Menschen); die Breite oder Spannweite der Hand **18** beträgt 9,14 cm (3,6 Zoll) (sechzigstes Perzentil eines Menschen) und der Umfang der Hand (um die Basisstruktur herum) beträgt 22,35 cm (8,8 Zoll) (fünfundachtzigstes Perzentil eines Menschen).

[0038] Mit Bezug auf [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) umfasst der Daumen **21** eine Vielzahl starrer Glieder oder Fingerglieder **38A–D** und eine Vielzahl von Gelenken **42A–D**. Das Gelenk **42A** montiert das Fingerglied **38A** drehbar derart an der Basisstruktur **34**, dass das Fingerglied **38A** mit Bezug auf die Struktur **34** selektiv um eine Achse A1 drehbar ist. Das Gelenk **42B** montiert das Fingerglied **38B** drehbar derart am Fingerglied **38A**, dass das Fingerglied **38B** mit Bezug auf das Fingerglied **38A** um eine Achse A2 selektiv drehbar ist. Das Gelenk **42C** montiert das Fingerglied **38C** drehbar derart am Fingerglied **38B**, dass das Fingerglied **38C** mit Bezug auf das Fingerglied **38B** um eine Achse A3 selektiv drehbar ist. Das Gelenk **42D** montiert das Fingerglied **38D** drehbar derart am Fingerglied **38C**, dass das Fingerglied **38D** mit Bezug auf das Fingerglied **38C** um eine Achse A4 selektiv drehbar ist.

[0039] Der Daumen **21** mit vier Fingergliedern **38A–38D** und vier unabhängig steuerbaren Gelenken **42A–42D** ist daher durch vier Freiheitsgrade gekennzeichnet. Ein menschlicher Daumen wird am genauesten so modelliert, dass er fünf unabhängig steuerbare Gelenke oder Freiheitsgrade aufweist. Der Daumen **21** ist bei der dargestellten Ausführungsform ausgestaltet, um die Posen, die von einem menschlichen Daumen erreicht werden können, mit nur vier Freiheitsgraden genau anzunähern, wodurch er zu der Kompaktheit der Hand **18** beiträgt.

[0040] Insbesondere wurde einer der fünf Freiheitsgrade des menschlichen Daumens, nämlich die dynamische Verdrehung zwischen den Achsen A2 und A3 im Roboterdaumen **21** durch eine permanente Winkelverdrehung ersetzt, die in der Gestalt des Fingerglieds **38B** ausgebildet ist. Das heißt, dass das Fingerglied **38B** derart ausgestaltet und geformt ist, dass die Achse A3 relativ zur Achse A2 linear versetzt und um etwa 40 Grad gedreht ist. Die Achsen A4 und A3 verlaufen parallel zueinander. Wie in [Fig. 5](#) und [Fig. 7](#) gezeigt ist, schneiden sich die Achsen A1 und A2 nicht, sondern die Achse A2 verläuft in Richtungen, die zu den Richtungen orthogonal sind, in welche die Achse A1 verläuft. Die Achse A2 ist weder parallel noch rechtwinklig zu den Achsen A3 und A4.

[0041] Mit Bezug auf [Fig. 6–Fig. 8](#) umfasst der Daumen **21** mindestens zwei Arten von Sensoren zusammen mit einer kompakten Elektronik **46**, um die Sensoren zu lesen und Sensordaten stromaufwärts zu übertragen. Die Funktionen der Elektronik **46** umfassen das Bereitstellen von Leistung an die Sensoren, das Aufnehmen analoger Sensordaten, das Umsetzen von analogen Signalen in digitale Signale, das Multiplexen oder Bündeln digitaler Signale und das Weiterleiten von Daten an eine stromaufwärts gelegene Elektronik. Insbesondere umfassen die Sensoren des Daumens **21** taktile Kraftaufnehmer **50A**, **50B**, die jeweils an einem jeweiligen Fingerglied **38C**, **38D** montiert sind. Der Daumen **21** umfasst auch eine Vielzahl von Gelenkpositionssensoranordnungen **54A–54D**, von denen jede ausgestaltet ist, um die absolute Winkelposition eines jeweiligen der Gelenke **42A–42D** und die Winkelposition eines Fingerglieds relativ zu einem damit verbundenen Fingerglied zu messen.

[0042] Jede der Gelenkpositionssensoranordnungen **54A–54D** umfasst einen jeweiligen Magneten **58A–58D** und einen jeweiligen Halleffekt-Sensor **62A–62D** (der Halleffekt-Sensor **62A** ist in [Fig. 4](#) gezeigt). Mit Bezug auf [Fig. 9](#) ist die Sensoranordnung **54D** beispielhaft für die Sensoranordnungen **54A–54C** und folglich sind der Magnet **58D** und der Sensor **62D** beispielhaft für die Magnete **58A–58C** bzw. die Sensoren **62A–62C**. Der Magnet **58D** ist mit Bezug auf das Fingerglied **38C** starr montiert und der Sensor **62D** ist mit Bezug auf das Fingerglied **38D** starr montiert. Der Magnet **58D** ist durch zwei Abschnitte **66**, **70** gekennzeichnet. Der Abschnitt **66** ist ein Segment eines Kreises mit einem Mittelpunkt **74** auf der Achse A4. Der Abschnitt **70** ist ein Segment eines Kreises mit einem Mittelpunkt bei **78**. Der Nordpol N des Magnets **58D** ist an einem Schnittpunkt der Abschnitte **66**, **70** angeordnet und der Südpol S des Magnets **58D** ist am anderen Schnittpunkt der Abschnitte **66**, **70** angeordnet. Bei der dargestellten Ausführungsform weist der Abschnitt **66** den gleichen Radius wie der Abschnitt **70** auf und die konkaven Seiten der Abschnitte **66**, **70** weisen zueinander hin. Der Magnet **54D** umgibt beide Mittelpunkte **74**, **78**.

[0043] Der Sensor **62D** ist am Fingerglied **38D** derart positioniert, dass der Sensor **62D** eine konstante Distanz vom Abschnitt **66** des Magnets **58D** beibehält, wenn sich das Fingerglied **38D** mit Bezug auf das Fingerglied **38C** um die Achse A4 dreht. Die Gestalt des Magnets **58D** und die Anordnung des Sensors **62D** stellen eine lineare Beziehung zwischen der Winkelposition des Fingerglieds **38D** mit Bezug auf das Fingerglied **38C** und die Veränderung beim Magnetfeld, die vom Sensor **62D** gelesen wird, bereit. Insbesondere und mit Bezug auf [Fig. 10](#) stellt eine Linie **82** das Signal dar, das von einem Halleffekt-Sensor als eine Funktion einer Winkelposition mit Bezug auf einen herkömmlichen runden Magneten (nicht gezeigt)

erzeugt wird. Wie durch Linie **82** gezeigt ist, ist das Signal sinusförmig. Eine Linie **86** stellt das Signal dar, das von dem Halleffekt-Sensor **62D** als eine Funktion der Winkelposition mit Bezug auf den Magneten **58D** erzeugt wird. Wie durch die Linie **86** gezeigt ist, erzeugt die Sensoranordnung **54D** ein annähernd lineares Signal über einen verwendbaren Bereich von Winkelpositionen von 150 Grad.

[0044] Der Magnet **58A** ist mit Bezug auf das Fingerglied **38A** montiert und der Sensor **62A** ist mit Bezug auf die Basisstruktur **34** montiert, und somit misst die Sensoranordnung **54A** die Drehposition des Fingerglieds **38A** mit Bezug auf die Basisstruktur **34**. Der Magnet **58B** ist mit Bezug auf das Fingerglied **38A** montiert und der Sensor **62B** ist mit Bezug auf das Fingerglied **38B** montiert, und somit misst die Sensoranordnung **54B** die Drehposition des Fingerglieds **38B** mit Bezug auf das Fingerglied **38A**. Der Magnet **58C** ist mit Bezug auf das Fingerglied **38B** montiert und der Sensor **62C** ist mit Bezug auf das Fingerglied **38C** montiert, und somit misst die Sensoranordnung **54C** die Drehposition des Fingerglieds **38C** mit Bezug auf das Fingerglied **38B**. Der Magnet **58D** ist mit Bezug auf das Fingerglied **38C** montiert und der Sensor **62D** ist mit Bezug auf das Fingerglied **38D** montiert, und somit misst die Sensoranordnung **54D** die Drehposition des Fingerglieds **38D** mit Bezug auf das Fingerglied **38C**.

[0045] Mit Bezug auf [Fig. 11](#), in der gleiche Bezugszeichen gleiche Komponenten aus [Fig. 1–Fig. 10](#) bezeichnen, wird eine Bewegung der Fingerglieder **38A–38D** um die Gelenke **42A–42D** durch Robotersehnern **90A–90E** bewerkstelligt, d. h. flexible Elemente wie etwa Kabel. Jede der Sehnen **90A–90E** ist mit einem jeweiligen Stellglied (in [Fig. 3](#) bei **26** gezeigt) im Vorderarm (in [Fig. 3](#) bei **24** gezeigt) auf funktionale Weise verbunden. Bei einer beispielhaften Ausführungsform sind die Stellglieder **26** Elektromotoren, die mit den Sehnen **90A–90E** durch Antriebsmechanismen auf funktionale Weise verbunden sind, welche ausgestaltet sind, um die Drehbewegung der Motoren in eine lineare Bewegung umzusetzen, um die Sehnen **90A–90E** anzutreiben. Die Platzierung der Stellglieder und Antriebsmechanismen im Vorderarm **24** und/oder im Handgelenk trägt zu der Kompaktheit der Hand **18** bei.

[0046] Das Verlegen der Sehnen **90A–90E** mit Bezug auf die Gelenke **42A–D** und die Achsen **A1–A4** ermöglicht, dass der Daumen **21** durch vier Freiheitsgrade unter Verwendung nur der fünf Sehnen **90A–90E** vollständig gesteuert wird. Zwei gegeneinander wirkende Sehnen **90A**, **90B** steuern das distale Nickgelenk **42D** und zwei gegeneinander wirkende Sehnen **90C**, **90D** steuern das mittlere Nickgelenk **42C**. Ein Ende der Sehne **90A** ist mit dem Fingerglied **38D** an einer Seite des Gelenks **42D** und der Achse **A4** funktional derart verbunden, dass eine Spannung

in der Sehne **90A** eine Drehung des Fingerglieds **38D** mit Bezug auf das Fingerglied **38C** um die Achse **A4** in eine erste Richtung **94** bewirkt. Ein Ende der Sehne **90B** ist mit dem Fingerglied **38D** an der der Sehne **90A** gegenüberliegenden Seite des Gelenks **42D** und der Achse **A4** derart verbunden, dass eine Spannung in der Sehne **90B** eine Drehung des Fingerglieds **38D** mit Bezug auf das Fingerglied **38C** um die Achse **A4** in eine zweite Richtung **98** bewirkt, die zur ersten Richtung **94** entgegengesetzt ist.

[0047] Ein Ende der Sehne **90C** ist mit dem Fingerglied **38C** an einer Seite des Gelenks **42C** und der Achse **A3** funktional derart verbunden, dass eine Spannung in der Sehne **90C** eine Drehung des Fingerglieds **38C** mit Bezug auf das Fingerglied **38B** um die Achse **A3** in die erste Richtung **94** bewirkt. Ein Ende der Sehne **90D** ist mit dem Fingerglied **38C** an der der Sehne **90C** gegenüberliegenden Seite des Gelenks **42C** und der Achse **A3** funktional derart verbunden, dass eine Spannung in der Sehne **90D** eine Drehung des Fingerglieds **38C** mit Bezug auf das Fingerglied **38B** um die Achse **A3** in die zweite Richtung **98** bewirkt. Eine Drehung der Fingerglieder in die erste Richtung **94** bewirkt, dass sich die Fingerglieder zu der Handfläche **36** hin drehen, und somit ermöglicht eine Drehung der Fingerglieder in die erste Richtung **94**, dass die Hand **18** ein Objekt ergreift. Eine Drehung der Fingerglieder in die zweite Richtung **98** bewirkt, dass sich die Fingerglieder von der Handfläche **36** wegdrehen und bewirkt somit, dass der Daumen **21** einen Griff am Objekt löst.

[0048] Die Sehne **90A** ist an der palmaren Seite oder Handflächen- oder Handrückenseite der Gelenke **42B–D** und der Achsen **A2–A4** verlegt. Die Sehne **90B** befindet sich an der Handflächen- oder Handrückenseite des Gelenks **42B** und der Achse **A2** und auf der nicht-palmaren oder der Handfläche abgewandten Seite der Gelenke **42C** und **42D** und der Achsen **A3** und **A4**. Die Sehne **90C** ist an der Handflächen- oder Handrückenseite der Gelenke **42B** und **42C** und der Achsen **A2** und **A3** verlegt. Die Sehne **90D** ist an der Handflächen- oder Handrückenseite des Gelenks **42B** und der Achse **A2** verlegt. Die Sehne **90E** ist an der der Handflächen- oder Handrückenseite abgewandten Seite der Achse **A2** verlegt.

[0049] Das Verlegen der Sehnen **90A–90D** an der Handflächen- oder Handrückenseite der Achse **A2** des proximalen Nickgelenks **42B** ermöglicht, dass die Sehnen **90A–90D** zum Schließen des Gelenks **42B** verwendet werden, d. h. zum Drehen des Fingerglieds **38B** mit Bezug zum Fingerglied **38A** um die Achse **A2**. Die Spannung in allen diesen Sehnen **90A–90D** wird aufsummiert, um ein Greifmoment zu maximieren, das auf das proximale Nickgelenk **42B** aufgebracht wird. Ein Öffnen des proximalen Nickgelenks **42B** wird durch die Sehne **90E** gesteuert, die so verlegt ist, dass sie den anderen vier Sehnen **90A–90D** an der gegenüberliegenden Seite der Achse **A2** entgegengewirkt.

[0050] Mit Bezug auf [Fig. 12](#), in der gleiche Bezugszeichen gleiche Komponenten aus [Fig. 1–Fig. 11](#) bezeichnen, gibt es keine Sehnen, die einer Steuerung der Position des Basisrollgelenks **42A** gewidmet sind. Stattdessen sind vier der fünf Sehnen **90A–90D** an einander gegenüberliegenden Seiten der Achse A1 des Basisrollgelenks **42A** verlegt und das Gleichgewicht der Spannung in diesen vier Sehnen **90A–90D** wird manipuliert, um die Position des Gelenks **42A** und entsprechend die Winkelposition des Fingerglieds **38A** mit Bezug auf die Basisstruktur **34** zu steuern. Insbesondere sind die Sehnen **90A** und **90B** an einer Seite des Gelenks **42A** und der Achse A1 verlegt und die Sehnen **90C** und **90D** sind an einer anderen Seite des Gelenks **42A** und der Achse A1 verlegt. Das Gleichgewicht der Spannungen zwischen den Sehnen **90A** und **90B** und den Sehnen **90C** und **90D** steuert die Winkelposition des Fingerglieds **38A** mit Bezug auf das Basiselement (in [Fig. 4–Fig. 5](#) bei **34** gezeigt).

[0051] Mit der in [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) gezeigten Verlegung der Sehnen ist es möglich, zu zeigen, wie die vier Gelenkmomente unabhängig steuerbar sind, wie auch die gesamte interne Spannung. Unter der Annahme, dass alle Hebelarme gleich sind, gilt

$$T_1 = A - B + C + D;$$

$$T_2 = A + B + C + D - E;$$

$$T_3 = A - B + C - D, \text{ und}$$

$$T_4 = A - B,$$

wobei A die Spannung in der Sehne **90A** ist, B die Spannung in der Sehne **90B** ist, C die Spannung in der Sehne **90C** ist, D die Spannung in der Sehne **90D** ist, E die Spannung in der Sehne **90E** ist, T_1 das Moment am Gelenk **42A** ist, T_2 das Moment am Gelenk **42B** ist, T_3 das Moment am Gelenk **42C** ist und T_4 das Moment am Gelenk **42D** ist. Um einen befohlenen Satz von Gelenkmomenten zu erhalten, werden die folgenden Gleichungen angewendet:

$$A = -T_1/4 + T_2/5 + T_4/2 + t/4;$$

$$B = -T_1/4 + T_2/5 - T_4/2 + t/4;$$

$$C = T_1/4 + T_2/5 + T_3/2 - T_4/2 + t/4;$$

$$D = T_1/4 + T_2/5 - T_3/2 - T_4/2 + t/4; \text{ und}$$

$$E = -T_2/5 + t,$$

wobei t ein interner Spannungsfaktor ist, der groß genug ist, um alle Spannungen positiv zu halten. Fachleute werden erkennen, wie diese Gleichungen modifiziert werden müssen, wenn die Hebelarme nicht

gleich sind oder wenn sie sich mit dem Drehwinkel der Gelenke ändern.

[0052] Obwohl die Sehnen **90A–E** in [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) so dargestellt sind, dass sie außerhalb der Fingerglieder **38A–38D** angeordnet sind, wird angemerkt, dass jede der Sehnen durch einen jeweiligen internen Führungskanal verlegt ist, der in den Fingergliedern **38A–38D** ausgebildet ist. Abschnitte der internen Führungskanäle im Fingerglied **38B** sind in [Fig. 7](#) bei **102A–102E** gezeigt. Mit Bezug auf [Fig. 7](#) und [Fig. 11–Fig. 12](#) ist die Sehne **90A** durch einen Führungskanal **102A** verlegt; die Sehne **90B** ist durch einen Führungskanal **102B** verlegt; die Sehne **90C** ist durch einen Führungskanal **102C** verlegt; die Sehne **90D** ist durch einen Führungskanal **102D** verlegt; und die Sehne **90E** ist durch einen Führungskanal **102E** verlegt. Die Winkelverdrehung bei der Gestalt des Fingerglieds **38B** führt zu gebogenen Führungskanälen **102A–102D**; beispielhafte Verfahren zum Ausbilden der Führungskanäle **102A–102D** umfassen Gießen und direktes Metall-Lasersintern (DMLS).

[0053] Obwohl in [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) die Achse A2 parallel zu den Achsen A3 und A4 zu verlaufen scheint, wird auch angemerkt, dass die Achse A2 relativ zu den Achsen A3 und A4 verdreht ist, wie in [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) gezeigt ist.

[0054] Bei der dargestellten Ausführungsform beträgt der Bewegungsbereich des Gelenks **42A** (Basisrollgelenk) 0° bis 80°; der Bewegungsbereich des Gelenks **42B** (proximales Nickgelenk) beträgt 0° bis 100°; der Bewegungsbereich des Gelenks **42C** (mittleres Nickgelenk) beträgt 0° bis 80° und der Bewegungsbereich des Gelenks **42D** (distales Nickgelenk) beträgt –30° bis 90°.

[0055] Obwohl die besten Arten zum Ausführen der Erfindung im Detail beschrieben wurden, werden Fachleute auf dem Gebiet, das diese Erfindung betrifft, verschiedene alternative Entwürfe und Ausführungsformen zum Umsetzen der Erfindung in die Praxis im Umfang der beigefügten Ansprüche erkennen.

Patentansprüche

1. Roboterhandanordnung (**18**), die umfasst: eine Basisstruktur (**34**); erste (**38A**), zweite (**38B**), dritte (**38C**) und vierte (**38D**) Fingerglieder; ein erstes Gelenk (**42A**), welches das erste Fingerglied (**38A**) mit der Basisstruktur (**34**) auf funktionale Weise derart verbindet, dass das erste Fingerglied (**38A**) mit Bezug auf die Basisstruktur (**34**) um eine erste Achse (A1) selektiv drehbar ist; ein zweites Gelenk (**42B**), welches das zweite Fingerglied (**38B**) mit dem ersten Fingerglied (**38A**) auf funktionale Weise derart verbindet, dass das zweite

Fingerglied **(38B)** mit Bezug auf das erste Fingerglied **(38A)** um eine zweite Achse (A2) selektiv drehbar ist; ein drittes Gelenk **(42C)**, welches das dritte Fingerglied **(38C)** mit dem zweiten Fingerglied **(38B)** auf funktionale Weise derart verbindet, dass das dritte Fingerglied **(38C)** mit Bezug auf das zweite Fingerglied **(38B)** um eine dritte Achse (A3) selektiv drehbar ist; und

ein viertes Gelenk **(42D)**, welches das vierte Fingerglied **(38D)** mit dem dritten Fingerglied **(38C)** auf funktionale Weise derart verbindet, dass das vierte Fingerglied **(38D)** mit Bezug auf das dritte Fingerglied **(38C)** um eine vierte Achse (A4) selektiv drehbar ist; fünf Sehnen **(90A–90E)**, die mit den Fingergliedern **(38A–38D)** auf funktionale Weise verbunden sind, um selektiv eine Kraft darauf auszuüben und dadurch ein Moment an den Gelenken **(42A–42D)** zu erzeugen; wobei die Sehnen **(90A–90E)** derart ausgestaltet sind, dass das Moment an jedem der Gelenke **(42A–42D)** durch die fünf Sehnen **(90A–90E)** unabhängig steuerbar ist;

wobei die ersten vier Sehnen **(90A–90D)** an einer ersten Seite der zweiten Achse (A2) derart verlegt sind, dass die Spannung in diesen vier Sehnen **(90A–90D)** aufsummiert wird, um ein Greifmoment am zweiten Gelenk **(42B)** zu maximieren; und

wobei die fünfte Sehne **(90E)** an einer zweiten Seite der zweiten Achse (A2) gegenüber der ersten Seite der zweiten Achse (A2) so verlegt ist, dass sie den ersten vier Sehnen **(90A–90D)** zum Öffnen des zweiten Gelenks **(42B)** entgegenwirkt.

2. Roboterhandanordnung **(18)** nach Anspruch 1, wobei die fünf Sehnen erste **(90A)**, zweite **(90B)**, dritte **(90C)**, vierte **(90D)** und fünfte **(90E)** Sehnen umfassen;

wobei die erste Sehne **(90A)** mit dem vierten Fingerglied **(38D)** auf funktionale Weise derart verbunden ist, dass eine Spannung in der ersten Sehne **(90A)** das vierte Fingerglied **(38D)** zur Drehung um die vierte Achse (A4) in eine erste Richtung **(94)** drängt;

wobei die zweite Sehne **(90B)** mit dem vierten Fingerglied **(38D)** auf funktionale Weise derart verbunden ist, dass eine Spannung in der zweiten Sehne **(90B)** das vierte Fingerglied **(38D)** zur Drehung um die vierte Achse (A4) in eine zweite Richtung **(98)** drängt;

wobei die dritte Sehne **(90C)** mit dem dritten Fingerglied **(38C)** auf funktionale Weise derart verbunden ist, dass eine Spannung in der dritten Sehne **(90C)** das dritte Fingerglied **(38C)** zur Drehung um die dritte Achse (A3) in die erste Richtung **(94)** drängt;

wobei die vierte Sehne **(90D)** mit dem dritten Fingerglied **(38C)** auf funktionale Weise derart verbunden ist, dass eine Spannung in der vierten Sehne **(90D)** das dritte Fingerglied **(38C)** zur Drehung und die dritte Achse (A3) in die zweite Richtung **(98)** drängt;

wobei die fünfte Sehne **(90E)** mit dem zweiten Fingerglied **(38B)** auf funktionale Weise derart verbunden ist, dass eine Spannung in der fünften Sehne

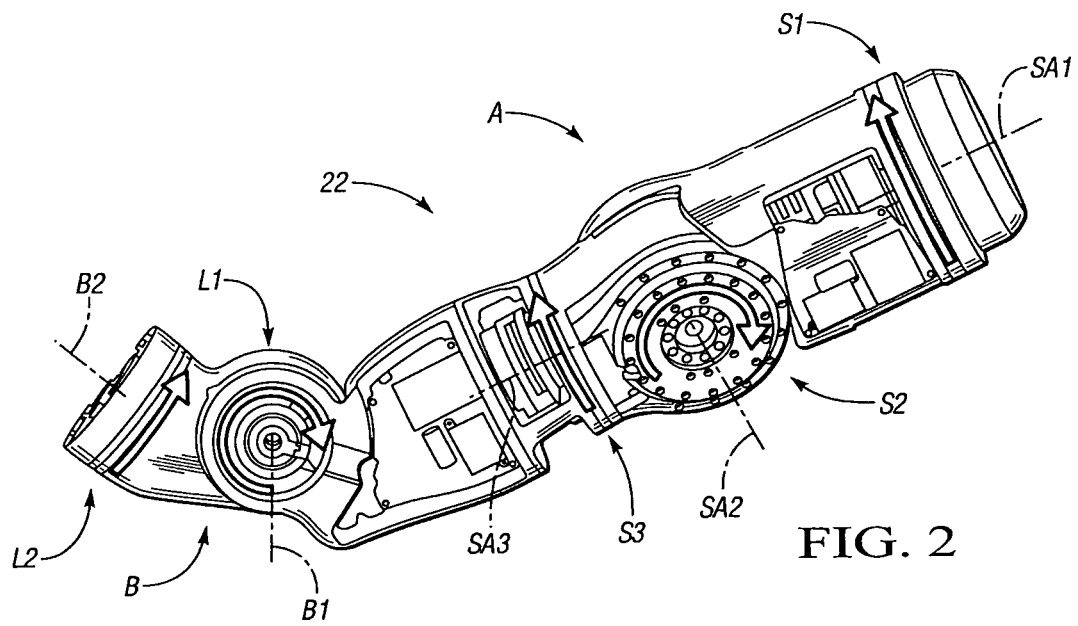
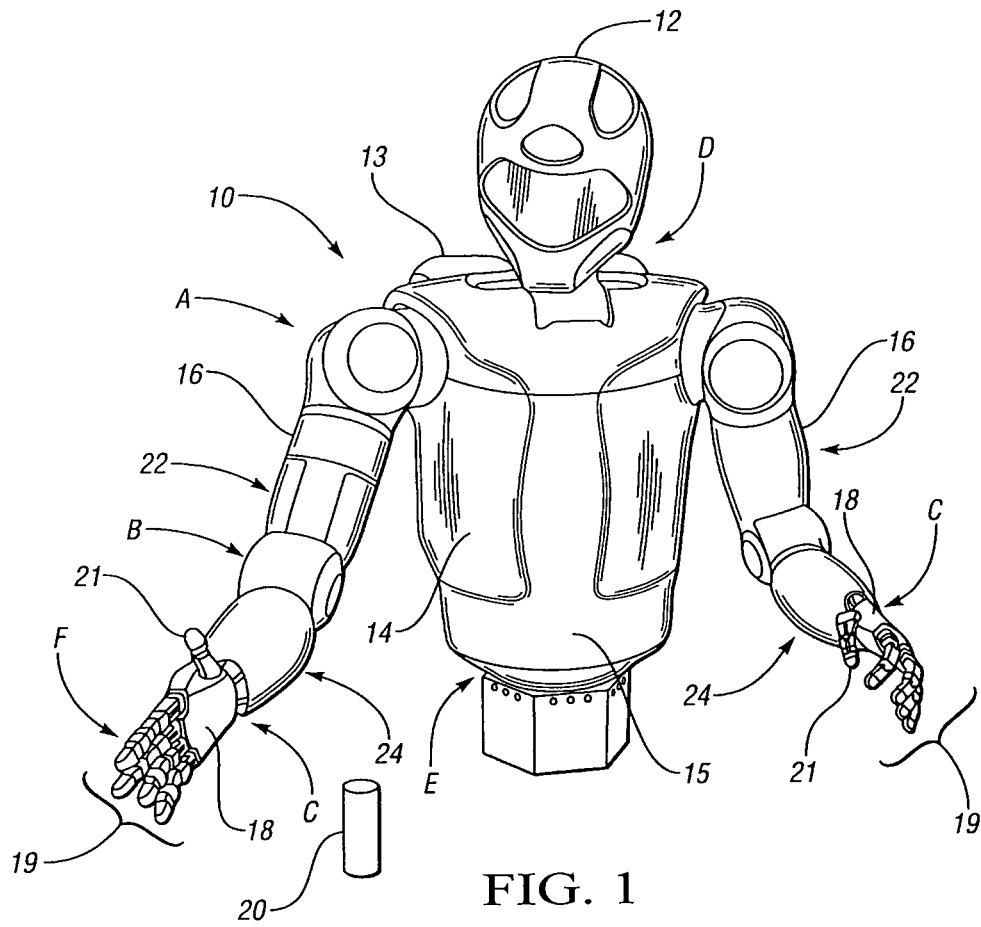
(90E) das zweite Fingerglied **(38B)** zur Drehung um die zweite Achse (A2) drängt.

3. Roboterhandanordnung **(18)** nach Anspruch 2, wobei die erste **(90A)** und zweite **(90B)** Sehne an einer ersten Seite der ersten Achse (A1) verlegt sind; und wobei die dritte **(90C)** und vierte **(90D)** Sehne an einer zweiten Seite der ersten Achse (A1) gegenüber der ersten Seite der ersten Achse (A1) verlegt sind.

4. Roboterhandanordnung **(18)** nach Anspruch 3, wobei die fünfte Sehne **(90E)** die erste Achse (A1) schneidet.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



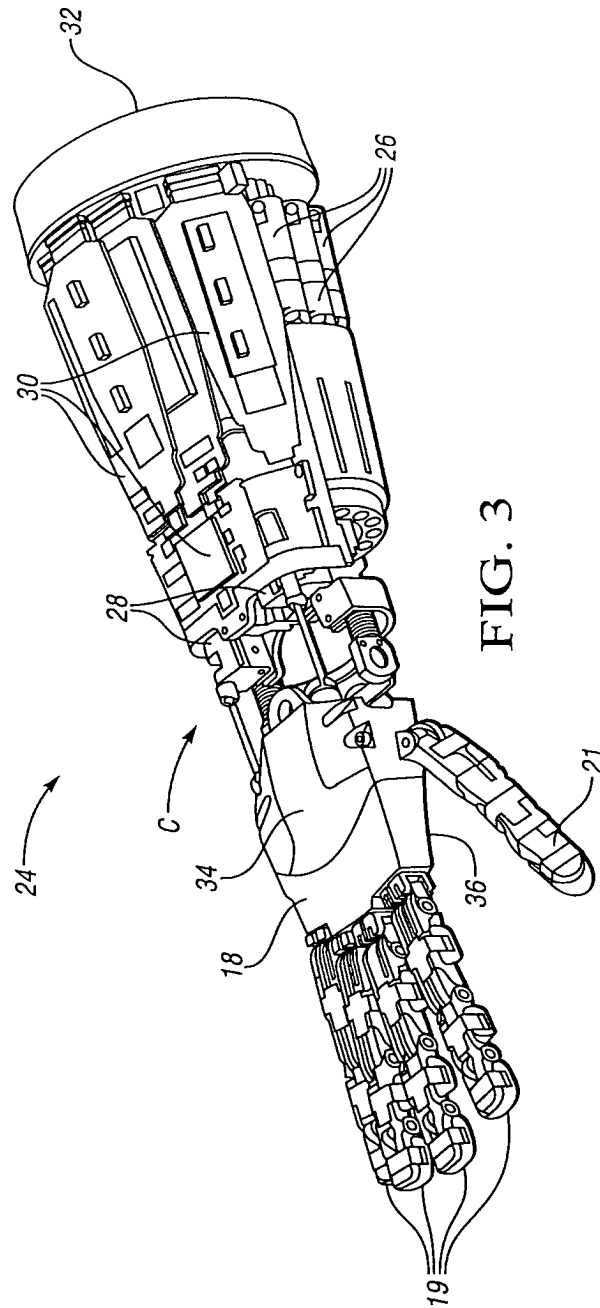
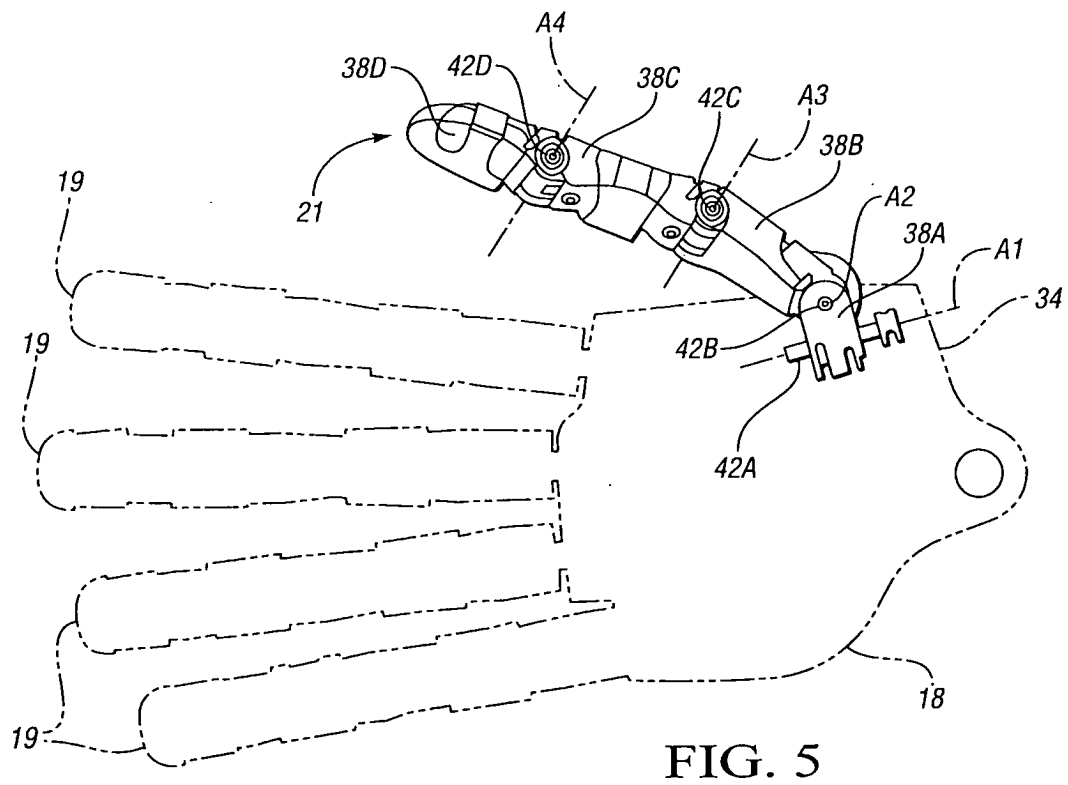
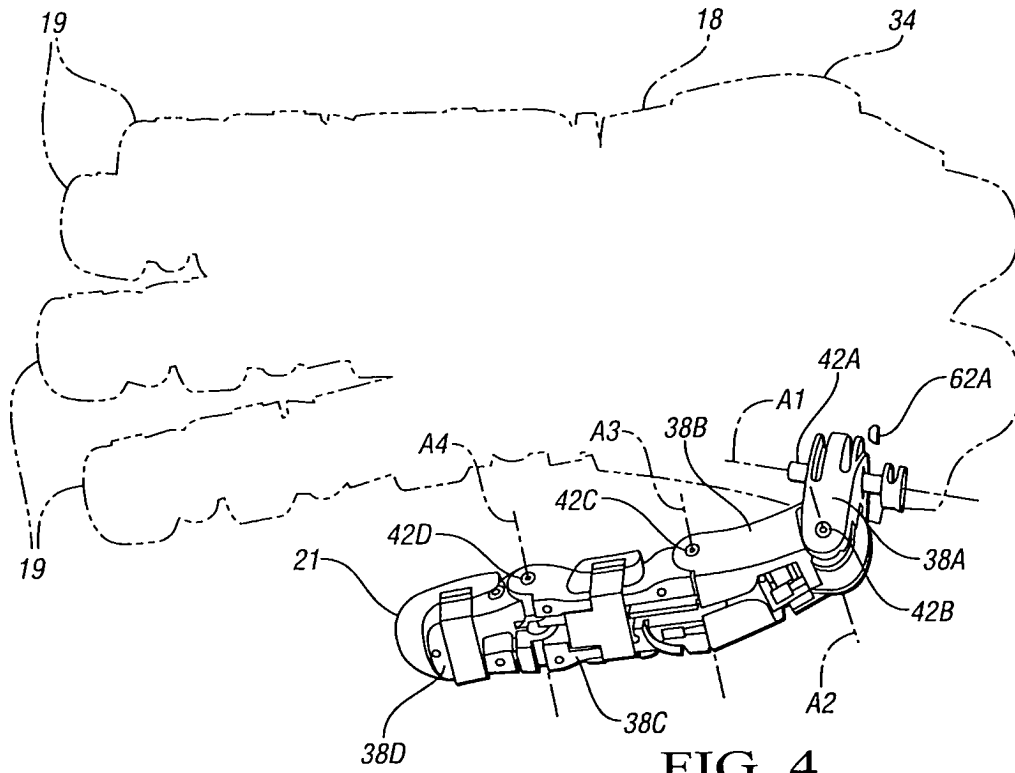
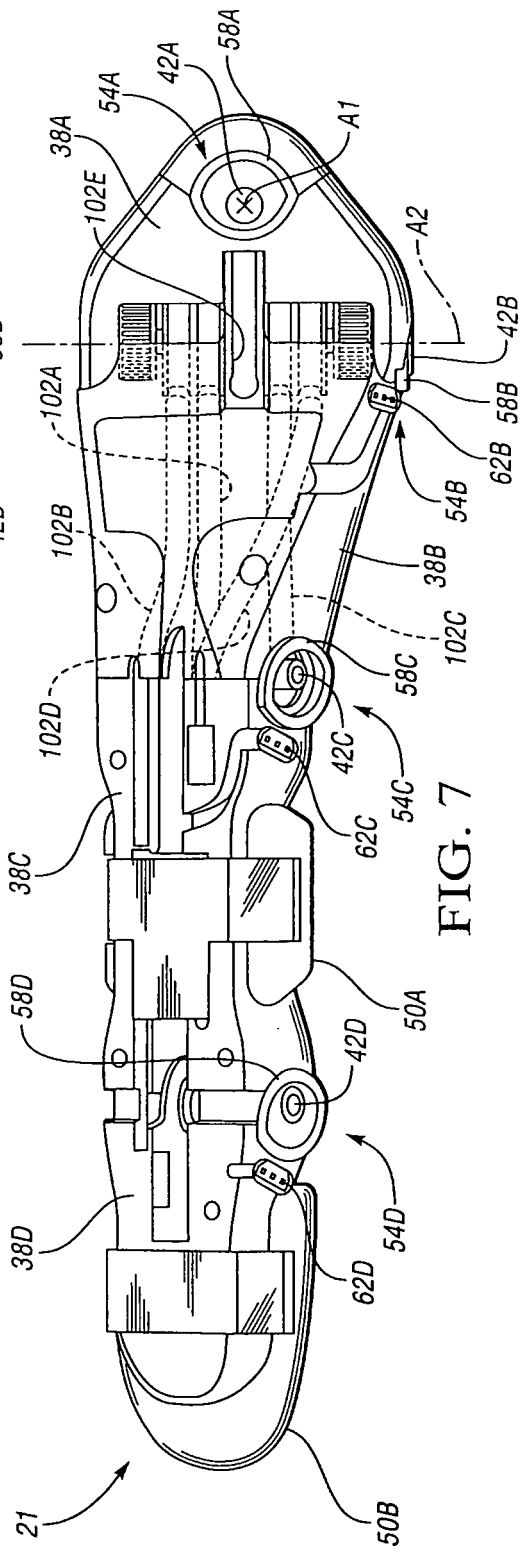
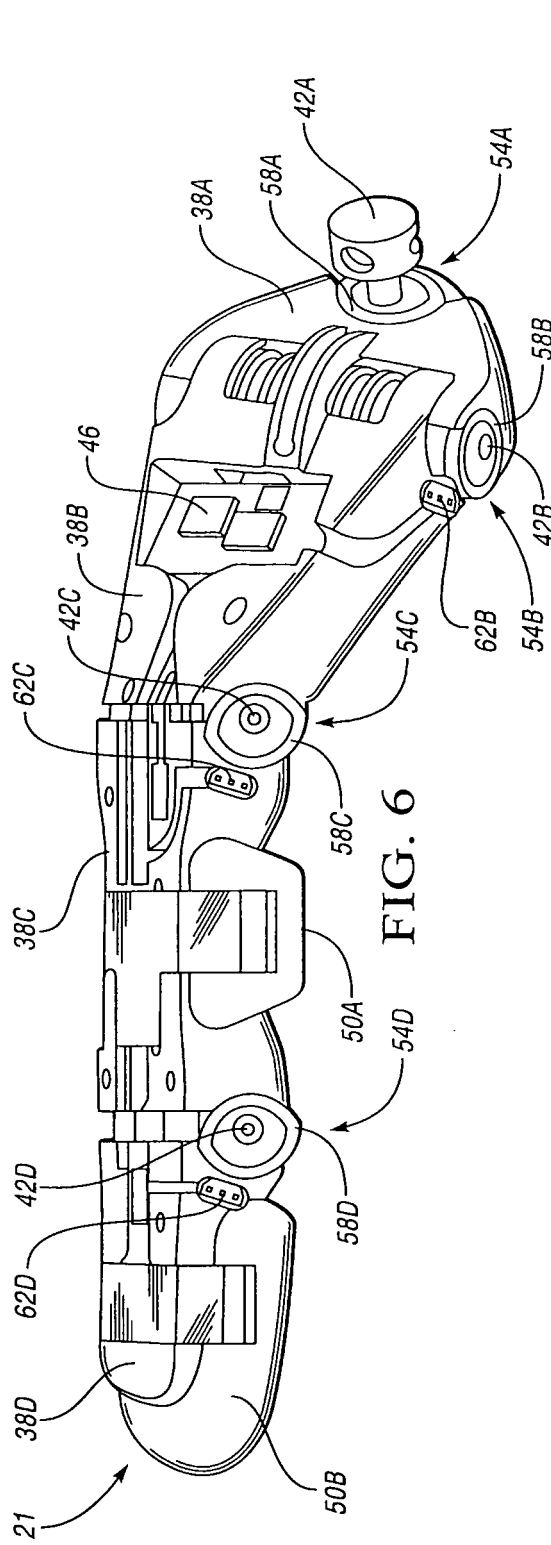


FIG. 3





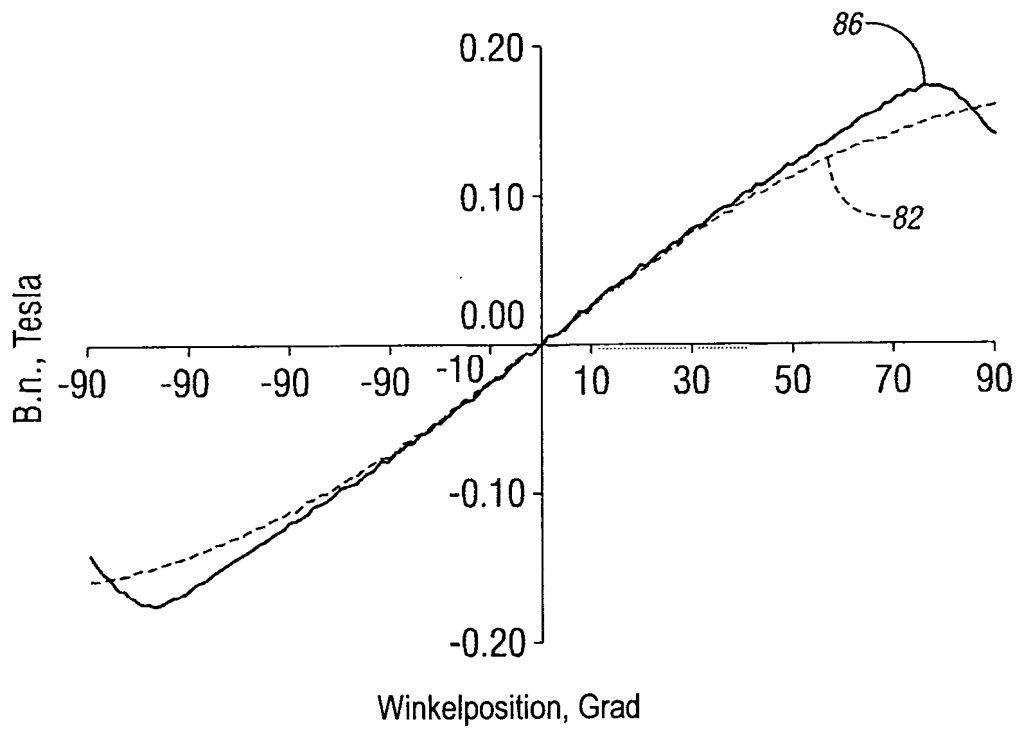
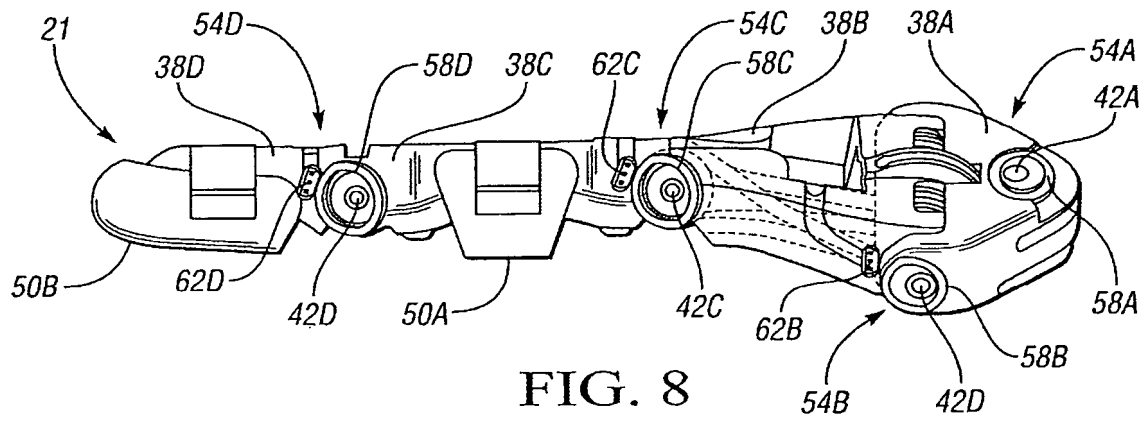


FIG. 10

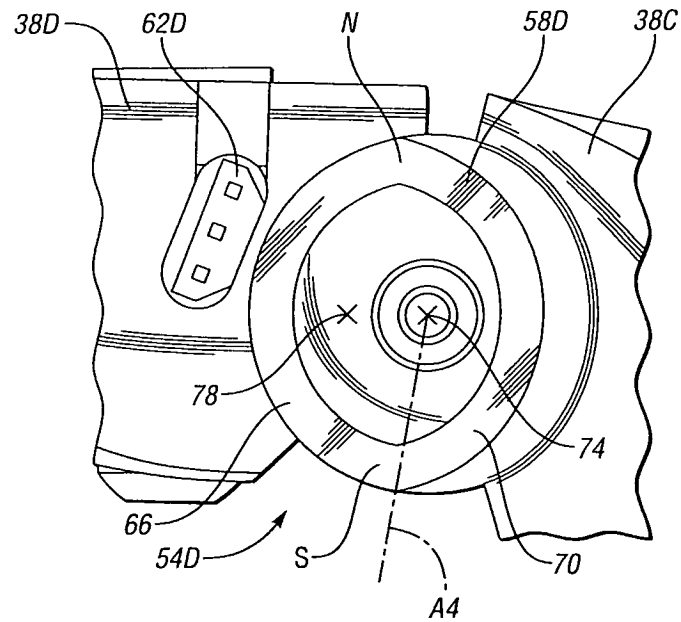


FIG. 9

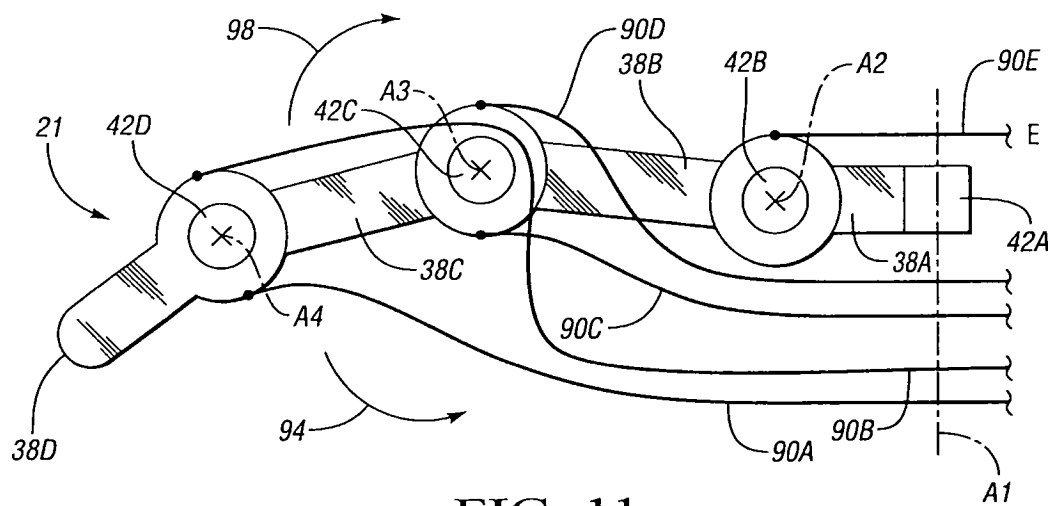


FIG. 11

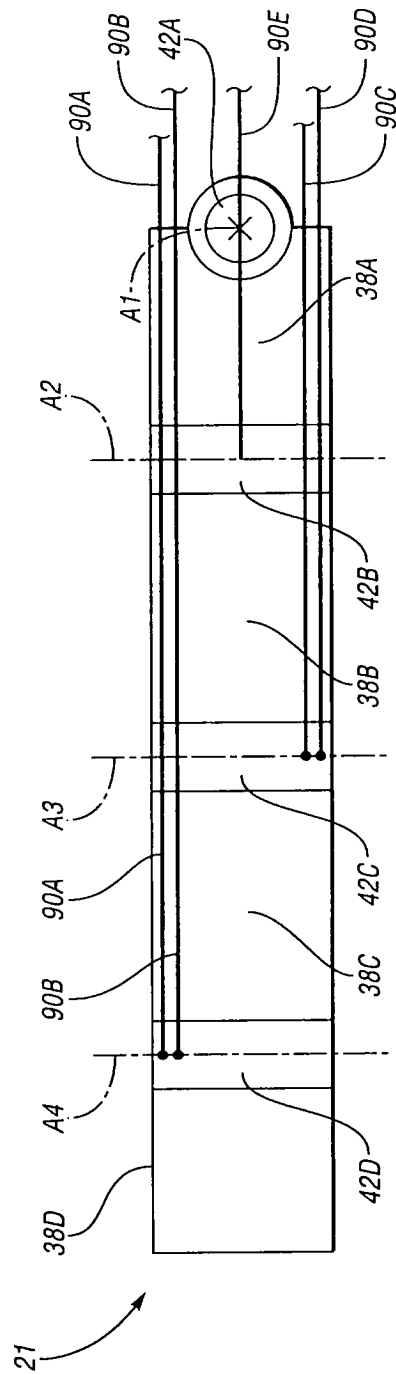


FIG. 12