(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 693 27 325 T3** 2006.07.20

(12) Übersetzung der geänderten europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 653 922 B2**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **693 27 325.9**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US93/07343**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **93 919 884.2**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1994/003113**
(86) PCT-Anmeldetag: **04.08.1993**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **17.02.1994**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **24.05.1995**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **15.12.1999**
(97) Veröffentlichungstag des geänderten Patents beim EPA: **09.11.2005**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.07.2006**

(51) Int Cl.[8]: ***A61B 17/00*** (2006.01)
A61B 17/56 (2006.01)
A61B 5/103 (2006.01)
A61B 19/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

927801	**10.08.1992**	**US**
5604	**19.01.1993**	**US**
72982	**03.06.1993**	**US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:
Computer Motion, Inc., Goleta, Calif., US

(72) Erfinder:
WANG, Yulun, Goleta, CA 93117, US; LABY, Keith, Phillip, Santa Barbara, CA 93109, US

(74) Vertreter:
Zenz, Helber, Hosbach & Partner GbR, 45128 Essen

(54) Bezeichnung: **AUTOMATISIERTES ENDOSKOPSYSTEM FÜR EINE OPTIMALE POSITIONIERUNG**

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

1. GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Robotersystem zur ferngesteuerten Positionseinstellung eines Operations(OP)-Instruments.

2. BESCHREIBUNG VERWANDTER TECHNIK

[0002] Ein Endoskop umfaßt kennzeichnenderweise eine Linse, die durch ein Lichtwellenleiterkabel mit einer Sichtanzeige gekoppelt ist. Ein solches System erlaubt dem Anwender eine Fernbetrachtung eines vor dem Endoskop befindlichen Bildes. Endoskope werden üblicherweise bei einem als Laparoskopie bekannten Operationsvorgang benutzt, bei dem das Endoskop in den Patienten durch einen kleinen Schnitt im Abdomen eingeführt wird. Das Endoskop erlaubt es dem Operateur, den Patienten von innen zu betrachten, ohne dabei direkten Sichtkontakt mit dem Objekt zu haben. Kennzeichnenderweise reduziert die Verwendung eines Endoskops die Größe des benötigten Schnitts zur Durchführung eines Operationsvorgangs.

[0003] Endoskope werden üblicherweise benutzt, um den Operateur bei der Entfernung der Gallenblase des Patienten zu unterstützen. Da der Operateur typischerweise beide Hände benötigt, um die Gallenblase zu entfernen, muß das Endoskop von einem Assistenten gehalten und bedient werden. Während des Operationsvorgangs muß der Operateur den Assistenten häufig anweisen, um das Endoskop innerhalb des Patienten zu bewegen. Ein solches Verfahren kann zeitaufwendig sein, da der Operateur möglicherweise eine Reihe von Anweisungen zu geben hat, bis der Assistent das Endoskop in der richtigen Stellung positioniert hat. Zusätzlich kann der Assistent außer Stande sein, das Instrument durchgängig in einer festen Position zu halten, was ein bewegtes Bild zur Folge hat. Dies trifft insbesondere für Operationsvorgänge zu, die sich über eine lange Zeitdauer erstrecken.

[0004] Derzeit wird von Leonard Medical Inc. ein System verkauft, das ein Endoskop mechanisch hält. Das Leonard-Medical-System ist eine durch Gelenke verbundene Einrichtung, die eine Mehrzahl von pneumatisch betätigten Gelenken aufweist, die das Endoskop in einer festen Position halten. Um das Endoskop zu bewegen, müssen die pneumatisch betätigten Gelenke zuerst in einen gelösten Zustand freigegeben werden. Der Operateur oder Assistent bewegt dann das Endoskop und reaktiviert das pneumatische System. Obwohl das Leonard-System das Endoskop in einer Position hält, erfordert das System, daß der Operateur oder Assistent die Pneumatik ständig deaktiviert/aktiviert und das Endoskop manuell bewegt. Ein solches System unterbricht den Operationsvorgang und verlängert die Zeitdauer der Operation. Ein ähnliches System ist aus der US-A-4517963 bekannt, in welcher der gelenkige Arm eine Reihe von mechanisch angelenkten und optisch verbundenen Armabschnitten aufweist. Das Endoskop des darin aufgezeigten Systems ist manuell betrieben.

[0005] Es wäre wünschenswert, ein System zu schaffen, das es dem Operateur erlaubt die Bewegung eines Endoskops direkt und effizient zu steuern.

ZUSAMMENFASSENDE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0006] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein System, das einem Anwender erlaubt, eine Bewegung eines Operationsinstruments, fernzusteuern, wie in Anspruch 1 beschrieben ist.

[0007] Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bildet ein Robotersystem, das als Reaktion auf die Betätigung eines Pedals, das von einem Operateur mit dem Fuß bedient werden kann, ein Operationsinstrument bewegt. Das Robotersystem weist ein Endstellgerät auf, das ein Operationsinstrument, wie beispielsweise ein Endoskop, halten kann. Das Endstellgerät ist an eine Roboterarmanordnung gekoppelt, die das Endoskop relativ zum Patienten bewegen kann. Das System umfaßt einen Computer, der die Bewegungen des Roboterarms in Abhängigkeit von Eingangssignalen vom Pedal aus steuern kann.

[0008] Der Computer berechnet den Betrag der inkrementellen Bewegung, die erforderlich ist, um das Endstellgerät entsprechend einer Folge von Algorithmen zu bewegen. Die Algorithmen wandeln das Eingangssignal des Pedals so, daß die Bewegung des Endoskops, wie sie vom Operateur gesehen wird, immer in derselben Richtung erfolgt wie die Bewegung des Pedals. Wird also das Pedal heruntergedrückt, um das Endoskop aufwärts oder abwärts zu bewegen, wird das Endstellgerät so manipuliert, daß sich das Endoskop aus Sicht des Operateurs stets in Aufwärts- oder Abwärtsrichtung relativ zum Bild bewegt. Das Robotersystem wird außerdem in Übereinstimmung mit einem Algorithmus bewegt, der eine konsistente Orientierung des vom Ope-

rateur betrachteten Bilds sicherstellt.

[0009] Daher ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein System zu schaffen, welches einem Operateur erlaubt, die Position eines Operationsinstruments fernzusteuern.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0010] Die Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden dem Fachmann nach Durchsicht der folgenden ausführlichen Beschreibung und der beiliegenden Zeichnungen ohne weiteres deutlich, worin:

[0011] Fig. 1 eine Seitenansicht eines Robotersystems gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist;

[0012] Fig. 2 eine Aufsicht auf das Robotersystem gemäß Fig. 1 ist;

[0013] Fig. 3 eine Aufsicht auf ein zum Halten eines Endoskops benutzten Endstellgeräts ist;

[0014] Fig. 4 eine Aufsicht auf ein Pedal des Systems gemäß Fig. 1 ist;

[0015] Fig. 5 eine Schnittansicht des Pedals gemäß Fig. 4 ist;

[0016] Fig. 6 einen Aufbau eines Computers des in Fig. 1 gezeigten Robotersystems zeigt;

[0017] Fig. 7 einen Aufbau des in einem zweiten Koordinatensystem ausgerichteten Endoskops zeigt;

[0018] Fig. 8 ein Flußdiagramm ist, das die Arbeitsweise des Systems zeigt;

[0019] Fig. 9 ein Graph ist, der die inkrementelle Bewegung der Roboterarmanordnung zeigt;

[0020] Fig. 10 eine Schnittansicht der Roboterarmanordnung ist, die an Kupplungs- und Antriebszüge gekoppelte Antriebe zeigt;

[0021] Fig. 11 eine Seitenansicht des Systems ist, die eine sterile Schutzhülle zeigt, welche die Roboterarmanordnung einschließt;

[0022] Fig. 12 eine Schnittansicht einer anderen Ausführungsform des Endstellgeräts ist;

[0023] Fig. 13 eine perspektivische Ansicht eines anderen Ausführungsform eines Endstellgeräts ist, welches ein Schneckengetriebe aufweist, das betriebsmäßig an das Operationsinstrument gekoppelt ist;

[0024] Fig. 14 eine perspektivische Ansicht einer anderen Ausführungsform eines Robotersystems ist, das die Schneckengetriebeverbindung gemäß Fig. 13 einsetzt;

[0025] Fig. 15 einen Aufbau eines Operationsinstruments zeigt, der ein drittes Koordinatensystem definiert, das in einem vierten Koordinatensystem angeordnet ist;

[0026] Fig. 16 einen Aufbau des Operationsinstruments zeigt, das relativ zum Anlenkungspunkt bewegt wird.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0027] In näherer Erläuterung der Zeichnungen unter Einbeziehung der Bezugsziffern, zeigen die Fig. 1 und Fig. 2 ein Robotersystem **10** gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Kennzeichnenderweise wird das System **10** in einem sterilen Operationsraum benutzt, in dem ein Operateur (nicht gezeigt) einen Operationsvorgang an einem Patienten **12** durchführt. Der Patient **12** liegt auf einem Operationstisch **14**. An dem Tisch **14** ist eine Roboterarmanordnung **16** befestigt, die ein Operationsinstrument **18** relativ zum Tisch **14** und zum Patienten **12** bewegen kann. Das Operationsinstrument **18** ist kennzeichnenderweise ein Endoskop, das in den Abdomen des Patienten **12** eingeführt wird. Das Endoskop **18** tritt durch eine Kanüle in den Patienten ein, wobei das Endoskop **18** um den Kanülendrehpunkt dreht. Das Endoskop ist üblicherweise an einen Bildschirm (nicht gezeigt) angeschlossen, der es dem Operateur erlaubt, die Organe etc. des Patienten zu betrachten. Obgleich ein Endoskop beschrieben und gezeigt ist, wird vorausgesetzt, daß die

vorliegende Erfindung mit anderen Operationsinstrumenten benutzt werden kann.

[0028] Das System besitzt einen Computer **20**, der an die Roboterarmanordnung **16** und ein Pedal **22** angeschlossen ist. Das Pedal **22** ist in direkter Nähe zum Operationstisch **14** angeordnet, so daß der Operateur bei der Durchführung einer Operation das Pedal **22** bedienen kann. Das System **10** ist so aufgebaut, daß der Operateur lediglich durch Herunterdrücken des Pedals **22** das Operationsinstrument **18** bewegen kann.

[0029] Die Roboterarmanordnung **16** umfaßt einen am Tisch **14** befestigten Linearantrieb **24**. Der Linearantrieb **24** ist mit einer Gelenkarmanordnung **26** verbunden und dient dazu, die Gelenkanordnung **26** entlang der Z-Achse eines ersten Koordinatensystems zu bewegen. Wie in Fig. 2 gezeigt, hat das erste Koordinatensystem außerdem eine X-Achse und eine Y-Achse. Der Linearantrieb **24** weist vorzugsweise einen Elektromotor auf, der eine Kugelspindel dreht, die die Abtriebswelle des Antriebs bewegt.

[0030] Die Gelenkarmanordnung **26** umfaßt einen an einem ersten Rotationsantrieb **30** befestigten ersten Gelenkarm **28** und ein Endstellgerät **32**. Der erste Rotationsantrieb **30** dient dazu, den ersten Gelenkarm **28** und das Endstellgerät **32** in einer Ebene normal zur Z-Achse (X-Y-Ebene) zu drehen. Der erste Rotationsantrieb **30** ist durch einen zweiten Gelenkarm **36** mit einem zweiten Rotationsantrieb **34** verbunden. Der zweite Rotationsantrieb **34** dient dazu, den ersten Antrieb **30** in der X-Y-Ebene zu drehen. Der zweite Rotationsantrieb **34** ist durch einen dritten Gelenkarm **40** mit einem dritten Rotationsantrieb **38** verbunden. Der dritte Rotationsantrieb **38** ist mit der Abtriebswelle des Linearantriebs **24** verbunden und dient dazu, den zweiten Rotationsantrieb **34** in der X-Y-Ebene zu drehen. Die Rotationsantriebe sind vorzugsweise Elektromotoren, deren Abtriebswellen mit den jeweiligen Gelenkarmen verbunden sind. Die Antriebe **30**, **34** und **38** sind vorzugsweise mit Untersetzungsgetriebe versehen, um das Drehmoment am Gelenkarm relativ zum dem des Elektromotors zu erhöhen. Die Elektromotoren der Antriebe **24**, **30**, **34** und **38** drehen in Abhängigkeit von Ausgangssignalen, die vom Computer **20** bereitgestellt werden.

[0031] Wie in Fig. 3 gezeigt, besitzt das Endstellgerät **32** eine Klemme **42**, die das Endoskop **18** fassen und halten kann. Die Klemme **42** kann als Draht mit einer Schleife gestaltet sein, die einen kleineren Durchmesser als der Außendurchmesser des Endoskops **18** hat. Die Klemme **42** erlaubt es, das Endoskop einfach an der Roboterarmanordnung **16** zu befestigen und von ihr abzunehmen. Obwohl eine einfache Drahtklemme gezeigt und beschrieben ist, wird vorausgesetzt, daß das Endstellgerät **32** jede benötigte Einrichtung aufweisen kann, um das Operationsinstrument **18** sicher zu befestigen. Wie in den Fig. 1 und Fig. 2 gezeigt, definiert die Verbindung des Endoskops **18** mit dem Endstellgerät **32** ein zweites Koordinatensystem mit einer X'-Achse, einer Y'-Achse und einer Z'-Achse. Die Verbindung des Endstellgeräts und des Endoskops **18** definiert ferner den Ursprung eines dritten Koordinatensystems mit einer X''-Achse, einer Y''-Achse und einer Z''-Achse, die parallel zur Längsachse des Endoskops **18** verläuft.

[0032] Das Endstellgerät **32** weist einen Schaft **44** auf, der am ersten Gelenkarm **28** angekoppelt werden kann. Der erste Gelenkarm **28** kann eine Führung aufweisen, die es dem Endstellgerät **32** erlaubt, um die Längsachse des Armes **28** zu drehen. Das Endstellgerät **32** kann so gestaltet sein, daß die Klemme **42** und das Endoskop **18** um die Y'-Achse drehen können. Das Endstellgerät **32** ist vorzugsweise vom ersten Gelenkarm **28** abnehmbar, so daß für jeden Operationsvorgang ein steriles Instrument benutzt werden kann. Das Robotersystem **10** kann außerdem eine Tasche oder Abdeckung aufweisen, um die Roboterarmanordnung **16** einzukapseln, damit die Anordnung **16** steril gehalten wird.

[0033] Die Antriebe **24**, **30**, **34** und **38** können jeweils Lagesensoren **46**–**52** aufweisen, die am Computer **20** angeschlossen sind. Die Sensoren können Potentiometer sein, die die Rotationsbewegung des Elektromotors erfassen können und Rückkopplungssignale an den Computer **20** liefern. Das Endstellgerät **32** kann ferner einen ersten Gelenklagesensor **54** aufweisen, der die Winkelverschiebung des Stellgeräts um die X'-Achse erfaßt, und einen zweiten Gelenklagesensor **55**, der die Winkelverschiebung des Endoskops um die Y'-Achse erfaßt.

[0034] Die Fig. 4 und Fig. 5 zeigen eine bevorzugte Ausführungsform des Pedals **22**. Das Pedal **22** weist ein Gehäuse **56** auf, das einen ersten Fußschalter **58** und einen zweiten Fußschalter **60** trägt. Der erste Fußschalter **58** ist mit einem ersten Druckübertragungssystem **62** und einem zweiten Druckübertragungssystem **64** versehen. Der zweite Fußschalter **60** weist ein drittes **66**, viertes **68**, fünftes **70** und sechstes **72** Druckübertragungssystem auf. Die Druckübertragungssysteme sind jeweils mit zugehörigen Funktionsverstärkern verbunden, die ein Spannungseingangssignal an den Computer **20** liefern: Die Druckübertragungssysteme **62**–**72** sind so gestaltet, daß der Widerstand jedes Übertragungssystems abnimmt, während der Operateur den Druck auf die Fußschalter erhöht. Ein solches Übertragungssystem wird von Interlink Electronics verkauft. Der sich

verringernde Übertragungssystemwiderstand erhöht die vom Funktionsverstärker an den Computer **20** gelieferte Eingangssignalspannung. Jedes Übertragungssystem entspricht einer vorbestimmten Richtung in dem dritten Koordinatensystem. Bei der bevorzugten Ausführungsform entspricht das erste Druckübertragungssystem **62** der Bewegung des Endoskops in Richtung des vom Operateur betrachteten Bildes. Das zweite Übertragungssystem **64** bewegt das Endoskop vom Bild weg. Die Übertragungssysteme drei **66** und vier **68** bewegen das Endoskop **18** jeweils "aufwärts" und "abwärts", und die Übertragungssysteme fünf **70** und sechs **72** bewegen das Endoskop **18** jeweils nach "links" und "rechts".

[0035] Die Fig. 6 zeigt einen Aufbau des Computers **20**. Der Computer **20** weist einen Multiplexer **74** auf, welcher an die Druckübertragungssysteme und die Lagesensoren angeschlossen ist. Bei der bevorzugten Ausführungsform ist der Multiplexer **74** mit zwölf Kanälen versehen, nämlich mit einem Kanal für jeden Sensor und für jedes Übertragungssystem. Der Multiplexer **74** ist an einen einzelnen Analog zu Digital (A/D) Konverter **76** angeschlossen.

[0036] Der Computer weist ferner einen Prozessor **78** und einen Speicher **80** auf. Der A/D Konverter **76** ist so gestaltet, daß der Konverter dem Prozessor **78** für jeden vom Eingangssignal des Systems aufgenommenen Spannungspegel eine binäre Spannungsfolge liefern kann. Das Übertragungssystem kann beispielsweise eine Spannung von –10 bis 10 Volt (V) liefern, und der Konverter **76** kann für jedes Spannungsniveau eine andere binäre 12 Bit Zahlenfolge liefern. Ein Eingangssignal von 1,0 V kann der binären Zahlenfolge 000011001010 entsprechen, 2,0 V können 000111010100 entsprechen und so weiter.

[0037] Der Prozessor **78** ist an ein Adreßregister **82** und vier separate Digital zu Analog (D/A) Konverter **84** angeschlossen. Jeder D/A-Konverter ist an einen Antrieb **26**, **30**, **34** oder **38** angeschlossen. Die D/A-Konverter **84** liefern als Antwort auf vom Prozessor **78** empfangene Ausgangssignale analoge Ausgangssignale an die Antriebe. Die analogen Ausgangssignale haben vorzugsweise ein hinreichendes Spannungsniveau, um die Elektromotoren einzuschalten und die Roboterarmanordnung zu bewegen. Die D/A-Konverter **84** können so gestaltet sein, daß eine binäre 1 vom Prozessor ein analoges Ausgangssignal erzeugt, das die Motoren antreibt. Bei einem solchen Ausführungsbeispiel sind die Motoren solange eingeschaltet, wie der Prozessor eine binäre 1 als Ausgangssignal liefert. Der Decoder **82** verknüpft die vom Prozessor gelieferten Adressen mit einem entsprechenden D/A-Konverter, so daß der (die) korrekte(n) Motor(en) angetrieben wird werden). Der Adreßdecoder **82** liefert auch eine Adresse für die Eingangsdaten vom A/D-Konverter, so daß die Daten dem korrekten Eingangskanal zugeordnet werden.

[0038] Der Prozessor **78** berechnet die Bewegung der Roboterarmanordnung **16** gemäß den folgenden Gleichungen.

(1) $$a3 = \pi - \cos^{-1}\left(\frac{(x - L3\cos(\pi))^2 + (y - L3\sin(\pi))^2 - L1^2 - L2^2}{2L1L2}\right)$$

$$\Delta = \cos^{-1}\left(\frac{(x - L3\cos(\pi))^2 + (y - L3\sin(\pi))^2 + L1^2 - L2^2}{2L1\sqrt{(x - L3\cos(\pi))^2 + (y - L3\sin(\pi))^2}}\right)$$

$$a0 = \tan^{-1}2\left(\frac{y - L3\sin(\pi)}{x - L3\sin(\pi)}\right)$$

$$a2 = a0 + / - \Delta$$

$$a4 = \pi - a2 - a3$$

wobei:

a2 = Winkel zwischen dem dritten Gelenkarm und der X-Achse.
a3 = Winkel zwischen dem zweiten Gelenkarm und der Längsachse des dritten Gelenkarms.
a4 = Winkel zwischen dem ersten Gelenkarm und der Längsachse des zweiten Gelenkarms.
L1 = Länge des dritten Gelenkarms.
L2 = Länge des zweiten Gelenkarms.
L3 = Länge des ersten Gelenkarms.
π = Winkel zwischen dem ersten Gelenkarm und der X'-Achse des zweiten Koordinatensystems.
X = X-Koordinate des Endstellgeräts im ersten Koordinatensystem.
Y = Y-Koordinate des Endstellgeräts im ersten Koordinatensystem.

[0039] Um das Endstellgerät an einen neuen Ort in der X-Y-Ebene zu bewegen, berechnet der Prozessor **78** die Änderungen der Winkel a2, a3 und a4 und liefert dann die Ausgangssignale, um die Antriebe entsprechend zu bewegen. Die ursprüngliche Winkellage des Endstellgeräts wird von den Sensoren **46**–**55** für den Prozessor **78** bereitgestellt. Der Prozessor bewegt die Gelenkarme um einen Winkel, der der Differenz zwischen der neuen Stellung und der ursprünglichen Stellung des Endstellgeräts entspricht. Ein Differenzwinkel Δa2 entspricht dem Betrag der vom dritten Antrieb **38** erzeugten Winkelverstellung, ein Differenzwinkel Δa3 entspricht dem Betrag der vom zweiten Antrieb **34** erzeugten Winkelverstellung, und ein Differenzwinkel Δa4 entspricht dem Betrag der vom ersten Antrieb **30** erzeugten Winkelverstellung.

[0040] Um die Effizienz des Systems **10** zu verbessern, ist das System so gestaltet, daß die Bewegung des Operationsinstruments, wie sie vom Operateur gesehen wird, stets mit der Bewegung des Pedals gleichgerichtet ist. Auf diese Weise scheint sich das Endoskop nach oben zu bewegen, wenn der Operateur den Fußschalter zum Hochfahren des Endoskops drückt. Um dieses Ergebnis zu erreichen, konvertiert der Prozessor **68** die gewünschte Bewegung des Endoskopendes im dritten Koordinatensystem in Koordinaten des zweiten Koordinatensystems und konvertiert dann die Koordinaten des zweiten Koordinatensystems in die Koordinaten des ersten Koordinatensystems.

[0041] Die gewünschte Bewegung des Endoskops wird durch die Verwendung der folgenden Transformationsmatrix vom dritten Koordinatensystem in das zweite Koordinatensystem konvertiert:

$$(2)\qquad \begin{pmatrix}\Delta x'\\ \Delta y'\\ \Delta z'\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\cos(a6) & 0 & -\sin(a6)\\ -\sin(a5)\sin(a6) & \cos(a5) & -\sin(a5)\cos(a6)\\ \cos(a5)\sin(a6) & \sin(a5) & \cos(a5)\cos(a6)\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\Delta x''\\ \Delta y''\\ \Delta z''\end{pmatrix}$$

wobei:

Δx" = der gewünschten inkrementellen Bewegung des Endoskops entlang der x"-Achse des dritten Koordinatensystems.
Δy" = der gewünschten inkrementellen Bewegung des Endoskops entlang der y"-Achse des dritten Koordinatensystems.
Δz" = der gewünschten inkrementellen Bewegung des Endoskops entlang der z"-Achse des dritten Koordinatensystems.
a5 = dem Winkel zwischen der z'-Achse und dem Endoskop in der y'-z'-Ebene.
a6 = dem Winkel zwischen der z'-Achse und dem Endoskop in der x'-z'-Ebene.
Δx' = der berechneten inkrementellen Bewegung des Endoskops entlang der x'-Achse des zweiten Koordinatensystems.
Δy' = der berechneten inkrementellen Bewegung des Endoskops entlang der y'-Achse des zweiten Koordinatensystems.
Δz' = der berechneten inkrementellen Bewegung des Endoskops entlang der z'-Achse des zweiten Koordinatensystems.

[0042] Die Winkel a5 und a6 werden von den ersten **54** und zweiten **55** am Endstellgerät **32** plazierten Gelenklagesensoren bereitgestellt. Die Winkel a5 und a6 sind in Fig. 7 gezeigt.

[0043] Die gewünschte Bewegung des Endoskops wird durch die Verwendung der folgenden Transformationsmatrix vom zweiten Koordinatensystem in das erste Koordinatensystem konvertiert:

$$(3)\qquad \begin{pmatrix}\Delta x\\ \Delta y\\ \Delta z\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\cos(\pi 2) & -\sin(\pi 2) & 0\\ \sin(\pi 2) & \cos(\pi 2) & 0\\ 0 & 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\Delta x'\\ \Delta y'\\ \Delta z'\end{pmatrix}$$

wobei:

Δx' = der berechneten inkrementellen Bewegung des Endoskops entlang der x'-Achse des zweiten Koordinatensystems.
Δy' = der berechneten inkrementellen Bewegung des Endoskops entlang der y'-Achse des zweiten Koordinatensystems.
Δz' = der berechneten inkrementellen Bewegung des Endoskops entlang der z'-Achse des zweiten Koordinatensystems.
π2 = dem Winkel zwischen dem ersten Gelenkarm und der x-Achse des ersten Koordinatensystems.
Δx = der berechneten inkrementellen Bewegung des Endoskops entlang der x-Achse des ersten Koordinatensystems.
Δy = der berechneten inkrementellen Bewegung des Endoskops entlang der y-Achse des ersten Koordinatensystems.
Δz = der berechneten inkrementellen Bewegung des Endoskops entlang der z-Achse des ersten Koordinatensystems.

[0044] Die inkrementellen Bewegungen Δx und Δy werden in die oben beschriebenen Algorithmen (1) zur Berechnung der Winkelbewegungen (Δa2, Δa3 und Δa4) der Roboterarmanordnung eingesetzt, um den Betrag der Drehung zu bestimmen, der von jedem Elektromotor zu erzeugen ist. Der Wert Δz wird zur Bestimmung des vom Linearantrieb **26** vorgesehenen Betrags der linearen Bewegung benutzt.

[0045] Nach jeder. Bewegung des Endoskops muß ein neuer π2-Wert berechnet werden, um bei der nächsten inkrementellen Bewegung des Endoskops verwendet zu werden. Das Endoskop liegt typischerweise immer in der x'-z'-Ebene, weshalb sich der π2-Wert nur verändert, wenn das Endstellgerät entlang der y'-Achse bewegt wird. Der neue π2-Winkel kann mit den folgenden Gleichungen berechnet werden:

$$d=\left|\frac{m}{\tan(a6)}\right|$$

$$(4)\qquad r=\left|d\sin(a5)\right|$$

$$\Delta\pi=\tan^{-1}\frac{m}{r}$$

wobei:

d = der Länge des Endoskops zwischen dem Endstellgerät und dem Kanülendrehpunkt.
r = der Distanz entlang der y'-Achse zwischen dem Endstellgerät und dem Kanülendrehpunkt.
m = der inkrementellen Bewegung des Endoskops.

[0046] Der neue π2-Wert wird berechnet und im Speicher des Computers für weitere Berechnungen abgelegt.

[0047] Die Fig. 8 zeigt ein Flußdiagramm für ein Programm, das verwendet wird, um das System zu betreiben. Der Computer **20** berechnet zuerst die Stellung des Endstellgeräts **32** anhand der von den Sensoren **46**–**55** gelieferten Eingangssignale. Wenn der Operateur einen der Fußschalter drückt, liefert das Pedal ein Eingangssignal an den Computer. Der Operateur kann beispielsweise einen näheren Blick auf ein Objekt vor dem Endoskop wünschen. Der Operateur drückt dann das Oberteil des ersten Fußschalters, wobei er das erste Übertragungssystem herunterdrückt und ein Eingangssignal an den Computer liefert. Das Eingangssignal wird in eine 12-Bit-Binärzahlenfolge konvertiert, die vom Prozessor empfangen wird. Die 12-Bit-Zahlenfolge entspricht dem vorgegebenen Inkrement von Δz". Der Computer fragt das Pedal fortlaufend ab, wobei jede Abfrage einem vorbestimmten Inkrement in der entsprechenden "-Achse" entspricht. Wenn der Operateur das

Pedal über zwei Abfrageperioden niederhält, beträgt das zu bewegende Inkrement 2xΔz". Der Konverter liefert auch einen Multiplikationsfaktor für jede Erhöhung des vom Verstärker des Übertragungssystems empfangenen Spannungspegels, so daß die Inkremente bei jeder Spannungserhöhung vergrößert werden. Somit kann der Operateur den Betrag der inkrementellen Bewegung durch Erhöhung des Drucks auf den Fußschalter vergrößern.

[0048] Der Prozessor **78** bestimmt dann die neuen Koordinaten im dritten Koordinatensystem. Die inkrementellen Bewegungen im dritten Koordinatensystem (Δx", Δy" und Δz") werden zur Berechnung der inkrementellen Bewegungen im zweiten Koordinatensystem (Δx', Δy' und Δz') und der Koordinaten im ersten Koordinatensystem (Δx, Δy und Δz) benutzt. Die inkrementellen Bewegungen werden dann zur Bestimmung der Veränderung der Winkel a2, a3 und a4 sowie der linearen Bewegung des Antriebs **24** verwendet. Der Computer liefert Ausgangssignale an die entsprechenden Elektromotoren, um die Roboterarmanordnung in die neue Position zu bewegen. Der neue π2-Winkel wird berechnet, und der Vorgang wird wiederholt. Die vorliegende Erfindung erlaubt es dem Operateur somit, ein Operationsinstrument in einer Weise ferngesteuert zu bewegen, die direkt mit dem durch das Endoskop betrachteten Bild korreliert.

[0049] Bei der bevorzugten Ausführungsform bewegt das System das Endstellgerät **32** so, daß das Endoskop stets in der gleichen Richtung relativ zum Patienten ausgerichtet ist. Dies wird erreicht, indem das Endstellgerät so bewegt wird, daß der Winkel a6 immer gleich Null ist. Daher wird nach jeder unabhängigen Bewegung des Endoskops der Winkel a6 vom Sensor **55** erfaßt. Wenn der Winkel a6 ungleich Null ist, bewegt der Prozessor das Endstellgerät entsprechend der folgenden Subroutine.

[0050] Wenn a6 > Null, dann wird das Endstellgerät um ein Inkrement bewegt, das gleich ist:

$\Delta\pi = \pi + \text{konstant}$

[0051] Wenn a6 < Null ist, dann wird das Endstellgerät um ein Inkrement bewegt, das gleich ist:

$\Delta\pi = \pi - \text{konstant}$

wobei:

Δπ	= der inkrementellen Winkelbewegung des Endstellgeräts.
π	= dem vorhergehenden Winkel π.
konstant	= einer vorbestimmten inkrementellen Winkelbewegung des Endstellgeräts.

[0052] Der Prozessor bewegt das Endstellgerät entsprechend der oben beschriebenen Subroutine, bis der Winkel a6 gleich Null ist. Der neue π-Winkel wird dann gespeichert und für weitere Berechnungen verwendet. Das Halten des Winkels a6 bei Null stellt sicher, daß die vom Operateur gesehene Ansicht für alle Endstellgerätelagen in derselben Ausrichtung liegt.

[0053] Wie in Fig. 10 gezeigt, ist jeder Gelenkarm **28**, **36** oder **80** vorzugsweise an ein erstes Schrägstirnrad **92** gekoppelt. Das erste Schrägstirnrad **92** ist mit einem zweiten Schrägstirnrad **94** gepaart, das über eine Kupplung **96** mit einem Antrieb **30**, **34** oder **38** gekoppelt ist. Die Kupplungen **96** bestehen vorzugsweise aus magnetischen Platten, die einkuppeln, wenn die Kupplungen mit Energie versorgt werden. Wenn die Energie unterbrochen wird, sind die Kupplungen **96** ausgekuppelt und die Antriebe von den Antriebswellen abgekoppelt, so daß die Gelenkarme vom Bediener manuell bewegt werden können. Die Kupplungen **96** werden über einen Schalter **98** mit Energie versorgt, der vom Operateur bedient werden kann. Die Kupplungen erlauben es dem Operateur, die Antriebe auszukuppeln und die Position des Endoskops manuell zu ändern.

[0054] Wie in Fig. 6 gezeigt, kann das System ein hebelbetätigtes Eingabegerät **100** aufweisen, das in der Regel als ein "Joystick" bezeichnet wird. Das Eingabegerät **100** kann in derselben Weise wie das Pedal benutzt werden, wobei der Bediener durch Bewegen des Hebels **102** des Geräts **100** das Endoskop bewegen kann. Das Gerät **100** kann ferner eine Mehrzahl von Speichertasten **104** aufweisen, die vom Bediener betätigt werden können. Die Speichertasten **104** sind mit dem Prozessor des Computers gekoppelt. Die Speichertasten **104** umfassen Sicherungstasten **106** und Aufruftasten **108**. Wenn die Sicherungstaste **106** heruntergedrückt wird, werden die Koordinaten des Endstellgeräts im ersten Koordinatensystem in einer oder mehreren zur Verfügung gestellten Adresse(n) des Computerspeichers gesichert. Wenn eine Aufruftaste **108** gedrückt wird, holt der Prozessor die im Speicher gesicherten Daten zurück und bewegt das Endstellgerät auf die Koordinaten des Endstellgeräts beim Drücken der Speichertaste.

[0055] Die Sicherungstasten erlauben es dem Bediener, die Koordinaten des Endstellgeräts in einer ersten Position zu speichern, das Endstellgerät in eine zweite Position zu bewegen und dann mit einem Tastendruck zur ersten Position zurückzukehren. Der Operateur kann beispielsweise eine Großaufnahme des Patienten von einer vorgegebenen Stellung aus vornehmen und die Koordinaten der Stellung im Speicher sichern.

[0056] Anschließend kann der Operateur das Endoskop bedienen, um in Hohlräume etc. hineinzugehen, die ein genaueres Bild liefern. Der Operateur kann schnell in die Großansicht zurückfahren, indem er lediglich die Aufruftaste des Systems herunterdrückt. Zusätzlich kann die letzte Position des Endoskops vor dem Herunterdrücken der Aufruftaste gespeichert werden, so daß der Operateur wieder zu dieser Position zurückkehren kann.

[0057] Wie in Fig. 9 gezeigt, wird das System während des Aufrufzyklus vorzugsweise in einer rampenartigen Weise bewegt, so daß dabei keinerlei plötzliche Bewegung der Gelenkarmanordnung vorkommt. Um das Endstellgerät von Punkt A zu Punkt B zu bewegen, würde der Prozessor anstatt einer rein linearen Bewegung der Antriebe die Gelenkarmanordnung vorzugsweise gemäß der folgenden Gleichung bewegen.

$$\theta(t) = (1 - t)^2(\theta_0 + (2\theta_0 + \dot{\theta}_0)t) + t^2(\theta_1 + (2\theta_1 + \dot{\theta}_1)(1 - t))$$

wobei:

t = Zeit
θ_0 = der Ursprungsposition des Endstellgeräts
θ_1 = der Endposition des Endstellgeräts
$\dot{\theta}_0$ = der Geschwindigkeit des Endstellgeräts an der Position θ_0
$\dot{\theta}_1$ = der Geschwindigkeit des Endstellgeräts an der Position θ_1.

[0058] Durch die Bewegung jedes Antriebs gemäß dem oben beschriebenen Algorithmus, wird die Bewegung der Gelenkarmanordnung schrittweise beschleunigt und dann schrittweise verzögert, wenn der Arm sich von der Ursprungslage entfernt bzw. der Endlage annähert. Die Bewegung des Arms gemäß der oben beschriebenen Gleichung erzeugt niedrige Anfangs- und Endwerte der Armbeschleunigung. Das stufenweise Beschleunigen und Verzögern der Bewegung des Arms verhindert jegliche abrupte oder plötzliche Bewegung der Armanordnung.

[0059] Wie in Fig. 11 gezeigt, ist die Roboterarmanordnung vorzugsweise in eine Hülle **110** eingekapselt. Die Hülle **110** isoliert die Armanordnung **26** so, daß der Arm den sterilen Bereich des Operationsraumes nicht verunreinigt. Die Hülle kann aus jedem Material hergestellt sein, das geeignet ist, die Sterilität des Raumes zu bewahren. Die Hülle **110** kann Befestigungseinrichtungen, wie Haken- und Schlaufengut aufweisen, oder einen Reißverschluß, der es erlaubt, die Hülle zeitweilig zu entfernen und nach jedem Operationsvorgang wieder anzubringen.

[0060] Fig. 12 zeigt eine weitere Ausführungsform eines Endstellgeräts **120**. Das Endstellgerät **120** weist einen Magneten **122** auf, welcher eine Metallmanschette **124** hält, die an das Endoskop **18** gekoppelt ist. Die Manschette **124** weist eine Mittenaussparung **126**, die das Endoskop **18** aufnimmt, und ein Armpaar **128** auf, das zusammen mit einer Schraube **130** das Endoskop **18** festlegt. Der Manschette **124** ist so gestaltet, daß sie in einen im Endstellgerät **120** angeordneten Kanal **132** paßt. Der Magnet **122** ist kennzeichnenderweise stark genug, das Endoskop während der Bewegung des Gelenkarms zu halten, und trotzdem schwach genug, um es dem Operateur zu ermöglichen, die Manschette und das Endoskop vom Endstellgerät abzuziehen.

[0061] Die Fig. 13 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform eines Endstellgeräts **140**, das das Operationsinstrument **142** an ein Robotersystem **144** koppelt. Das Endstellgerät **140** weist einen Manschettenhalter **146** auf, welcher eine Manschette **148** halten kann, die am Instrument **142** befestigt ist. Die Manschette **148** weist eine Lippe **150** auf, die, wenn das Instrument **142** an die Roboteranordnung **144** gekoppelt ist, von der Auflagefläche des Kragenhalters **146** abgestützt wird. Der Kragen **148** ist mit einer Führung **152** versehen, die an dem Instrument **142** befestigt ist und Getriebezähne **153** aufweist, die mit einem im Endstellgerät **140** eingebauten Schneckengetriebe **154** im Eingriff steht. Das Schneckengetriebe **154** ist kennzeichnenderweise mit einem Elektromotor (nicht gezeigt) verbunden, der das Getriebe **154** antreiben und das Instrument **142** um seine Längsachse drehen kann.

[0062] Das Endstellgerät **140** wird vorzugsweise in einem in Fig. 14 schematisch gezeigten Robotersystem angewendet. Das Schneckengetriebe ersetzt den in Fig. 1 gezeigten ersten Antrieb **30** des Robotersystems.

Die passiven Gelenke **156** und **158** ermöglichen die gleichen Freiheitsgrade, die von den in Fig. 3 dargestellten passiven Gelenken geboten werden. Zur Verdeutlichung werden die Gelenke **156** und **158** getrennt gezeigt, wobei voraussetzend ist, daß die Gelenke physisch innerhalb des Endstellgeräts **140** angeordnet sein können.

[0063] Das Operationsinstrument wird kennzeichnenderweise an eine Kamera (nicht gezeigt) und einen Bildschirm (nicht gezeigt) gekoppelt, so daß jede Drehung des Instruments um seine Längsachse eine entsprechende Drehung des Bildes auf dem Bildschirm hervorruft. Die Drehung des Instruments und des zu betrachtenden Bildes kann den Betrachter desorientieren. Es ist daher wünschenswert, die Ausrichtung des zu betrachtenden Bildes beizubehalten.

[0064] Bei dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel bewegt die Roboteranordnung das Instrument gemäß einer Folge von Algorithmen, die den Winkel a6 auf einem Wert von Null halten. Dies wird dadurch erreicht, daß nach jeder Bewegung ein neuer Winkel a6 berechnet und das Instrument anschließenden so bewegt wird, daß a6 gleich Null ist. Abhängig von der Stellung des Endstellgeräts, kann das Bewegen des Instruments auf a6 gleich Null das Einschalten einiger oder aller Antriebe und somit notwendigerweise die Berechnung der Winkel a2, a3 und a4 erfordern. Durch die Verwendung des Schneckengetriebes **154** des Endstellgeräts **140** kann die richtige Ausrichtung des zu betrachtenden Bilds dadurch beibehalten werden, daß das Schneckengetriebe **154** und das Endoskop **142** lediglich um einen berechneten Winkel um die Längsachse des Instruments **142** gedreht werden.

[0065] Wie in Fig. 15 gezeigt, ist das Endoskop **142** in einem festen vierten Koordinatensystem ausgerichtet, das eine z-Achse aufweist, die parallel zu der z-Achse des in Fig. 1 gezeigten ersten Koordinatensystems verläuft. Der Ursprung des vierten Koordinatensystems ist der Schnittpunkt des Instruments mit dem Endstellgerät. Um Referenzpunkte vorzusehen, steht das Instrument zunächst in einer ersten Position und wird in eine zweite Position verfahren. Das Endoskop **142** selbst definiert das dritte Koordinatensystem, wobei die z''-Achse mit der Längsachse des Instruments **142** übereinstimmt. Um die richtige Ausrichtung des Endoskops **142** sicherzustellen, dreht das Schneckengetriebe **154** das Instrument **142** um einen Betrag Δθ6 um seine Längsachse, um sicherzustellen, daß die y''-Achse innerhalb des festen Koordinatensystems in möglichst vertikaler Richtung ausgerichtet ist. Δθ6 wird von den folgenden Kreuzprodukten berechnet.

$$\Delta\theta 6 = zi'' \times (yo'' \times yi)$$

wobei:

Δθ6 = dem Winkel ist, um den das Instrument um die z''-Achse zu drehen ist.
yo'' = der Vektorausrichtung der y''-Achse ist, wenn das System in der ersten Position steht.
yi'' = der Vektorausrichtung der y''-Achse ist, wenn das Instrument in der zweiten Position steht.
zi'' = der Vektorausrichtung der z''-Achse ist, wenn das Instrument in der zweiten Position steht.

[0066] Die Vektoren der yi''- und zi''-Achsen werden mit den folgenden Algorithmen berechnet.

$$[zi''] = \begin{bmatrix} \cos\Theta_5 & 0 & -\sin\Theta_5 \\ -\sin\Theta_4 \sin\Theta_5 & \cos\Theta_4 & -\sin\Theta_4 \cos\Theta_5 \\ \cos\Theta_4 \sin\Theta_5 & \sin\Theta_4 & \cos\Theta_4 \cos\Theta_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$xi'' = z \times zi''$$

$$yi'' = zi'' \times xi''$$

wobei:

θ4 = dem Winkel zwischen dem Instrument und der z-Achse in der y-z-Ebene ist.
θ5 = dem Winkel zwischen dem Instrument und der z-Achse in der x-z-Ebene ist.
z = dem Einheitsvektor der z-Achse im ersten Koordinatensystem ist.

[0067] Die Winkel θ4 und θ5 werden von den an die Gelenke **156** und **158** gekoppelten Gelenklagesensoren bereitgestellt. Der Vektor yo'' wird unter Nutzung der Winkel θ4 und θ5 des Instruments in der ursprünglichen bzw. ersten Position berechnet. Für die Berechnung des yi'' werden die Winkel θ4 und θ5 der zweiten Position

in der Transformationsmatrix verwendet. Nach jeder Armbewegung wird yo" zu yi" gesetzt, und ein neuer yi"-Vektor wird mit einem entsprechendem Δθ6 Winkel berechnet und zum Wiederausrichten des Endoskops eingesetzt. Durch die Anwendung der oben beschriebenen Algorithmen dreht das Schneckengetriebe das Instrument fortlaufend um seine Längsachse, um sicherzustellen, daß die Drehbewegung des Endoskops keine damit verbundene Drehung des betrachtenden Bildes bewirkt.

[0068] Wenn das Operationsinstrument zum ersten Mal in den Patienten eingeführt wird, ist die exakte Position des Instrumentendrehpunkts unbekannt. Es ist wünschenswert, den Drehpunkt zu berechnen, um den Betrag der zum Bewegen des Linsenabschnitts des Endoskops notwendigen Roboterbewegung zu bestimmen. Die exakte Bewegung des Endstellgeräts und des gegenüberliegenden Linsenabschnitts des Instruments kann durch die Kenntnis des Drehpunktes und der Distanz zwischen dem Drehpunkt und dem Endstellgerät ermöglicht werden. Die Drehpunktlage kann ferner dazu benutzt werden sicherzustellen, daß die Unterseite des Instruments nicht in den Patienten gedrückt wird, und um zu verhindern, daß das Instrument aus dem Patienten herausgezogen wird.

[0069] Der Drehpunkt des Instruments wird berechnet durch anfängliche Bestimmung der Ursprungslage des Schnittpunktes des Endstellgeräts mit dem Instrument PO und des Einheitsvektors Uo, der die gleiche Ausrichtung wie das Instrument hat. Die Positionswerte P(x, y, z) können von den verschiedenen Positionssensoren der oben beschriebenen Roboteranordnung hergeleitet werden. Der Einheitsvektor Uo wird durch folgende Transformationsmatrix berechnet:

$$Uo = \begin{bmatrix} \cos\Theta_5 & 0 & -\sin\Theta_5 \\ -\sin\Theta_4\sin\Theta_5 & \cos\Theta_4 & -\sin\Theta_4\cos\Theta_5\Theta_5 \\ \cos\Theta_4\sin\Theta_5 & \sin\Theta_4 & \cos\Theta_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$$

[0070] Nach jeder Bewegung des Endstellgeräts wird eine Winkelbewegung des Instruments Δθ berechnet, indem der arcsin des Kreuzprodukts der ersten und zweiten Einheitsvektoren Uo und U1 des Instruments gemäß der folgenden Liniengleichungen Lo und L1 bestimmt wird.

$\Delta\theta = \arcsin(|T|)$

$T = UoxU1$

wobei:

T = einem Vektor, der ein Kreuzprodukt der Einheitsvektoren Uo und U1 ist.

[0071] Der Einheitsvektor der neuen Instrumentposition U1 wird wiederum unter Nutzung der Lagesensoren und der oben beschriebenen Transformationsmatrix bestimmt. Wenn der Winkel Δθ größer ist als ein Schwellwert, wird ein neuer Drehpunkt berechnet und Uo zu U1 gesetzt. Wie in Fig. 16 gezeigt, kann die erste und zweite Instrumentausrichtung durch die Gleichungsfolgen Lo und L1 bestimmt werden:
Lo:

$xo = Mx0 \cdot Zo + Cxo$

$yo = Mx0 \cdot Zo + Cyo$

L1:

$x1 = Mx1 \cdot Z1 + Cx1$

$y1 = My1 \cdot Z1 + Cy1$

wobei:

Zo = einer z-Koordinate entlang der Linie Lo relativ zur z-Achse des ersten Koordinaten Systems.
Z1 = einer Z-Koordinate entlang der Linie L1 relativ zur z-Achse des ersten Koordinatensystems.
Mxo = einer Steigung der Linie Lo als Funktion von Zo.
Myo = einer Steigung der Linie Lo als Funktion von Zo.
Mx1 = einer Steigung der Linie L1 als Funktion von Z1.
My1 = einer Steigung der Linie L1 als Funktion von Z1.
Cxo = einer Konstante, die den Schnittpunkt der Linie Lo und der x-Achse des ersten Koordinatensystems darstellt.
Cyo = einer Konstante, die den Schnittpunkt der Linie Lo und der y-Achser des ersten Koordinatensystems darstellt.
Cx1 = einer Konstante, die den Schnittpunkt der Linie L1 und der x-Achse des ersten Koordinatensystems darstellt.
Cy1 = einer Konstante, die den Schnittpunkt der Linie L1 und der y-Achse des ersten Koordinatensystems darstellt.

[0072] Die Steigungen werden unter Verwendung der folgenden Algorithmen berechnet:

Mxo = Uxo/Uzo

Myo = Uyo/Uzo

Mx1 = Ux1/Uz1

My1 = Uy1/Uz1

Cx0 = Pox – Mx1·Poz

Cy0 = Poy – My1·Poz

Cx1 = P1x – Mx1·P1z

Cy1 = P1y – My1·P1z

wobei:

Uo(x, y und z) = den Einheitsvektoren des Instruments in der ersten Position innerhalb des ersten Koordinatensystems.
U1(x, y und z) = den Einheitsvektoren des Instruments in der zweiten Position innerhalb des ersten Koordinatensystems.
Po(x, y und z) = den Koordinaten des Schnittpunkts des Endstellgeräts mit dem Instrument in der ersten Position innerhalb des ersten Koordinatensystems.
P1(x, y und z) = den Koordinaten des Schnittpunkts des Endstellgeräts mit dem Instrument in der zweiten Position innerhalb des ersten Koordinatensystems.

[0073] Um eine angenäherte Drehpunktlage zu finden, werden die Drehpunkte des Instruments in der ersten Ausrichtung Lo (Drehpunkt Ro) und in der zweiten Ausrichtung L1 (Drehpunkt R1) bestimmt, und es wird die halbe Entfernung zwischen den zwei Punkten Ro und R1 berechnet und als Drehpunkt R_{ave} des Instruments gespeichert. Der Drehpunkt R_{ave} wird durch Nutzung des Kreuzprodukt-Vektors T bestimmt.

[0074] Um die Punkte Ro und R1 zu finden, werden die folgenden Gleichungen aufgestellt, um eine Linie mit der gleichen Ausrichtung wie der Vektor T, verlaufend durch Lo und L1, zu definieren.

tx = Tx/Tz

ty = Ty/Tz

wobei:

tx = der Steigung einer vom Vektor T definierten Linie relativ zur z-x-Ebene des ersten Koordinatensystems.
ty = der Steigung einer vom Vektor T definierten Linie relativ zur z-y-Ebene des ersten Koordinatensystems.
Tx = der x-Komponente des Vektors T.
Ty = der y-Komponente des Vektors T.
Tz = der z-Komponente des Vektors T.

[0075] Die Auswahl zweier Punkte zur Bestimmung der Steigungen Tx, Ty und Tz (d.h. Tx = x1 – xo, Ty = y1 – yo und Tz = z1 – z0) und das Substituieren der Liniengleichungen Lo und L1 liefern eine Lösung für die Punktkoordinaten von Ro (xo, yo, zo) und R1 (x1, y1, z1), wie folgt.

zo = ((Mx1 – tx)z1 + Cx1 – Cxo)/(Mxo – tx)

z1 = ((Cy1 – Cyo)(Mxo – tx) – (Cx1 – Cxn)(Myo – ty))/((Myo – ty)(Mx1 – tx) – (My1 – ty)(Mxo – tx))

yo = Myo·zo + Cyo

y1 = My1·z1 + Cy1

xo = Mxo·zo + Cxo

x1 = Mx1·z1 + Cx1

[0076] Die mittlere Entfernung zwischen den Drehpunkten Ro und R1 wird mit der folgenden Gleichung berechnet und als Drehpunkt des Instruments gespeichert.

R_{ave} = (x1 + xo)/2, (y1 + yo)/2, /z1 + zo)/2)

[0077] Der Drehpunkt kann mit der oben beschriebenen Algorithmusroutine fortlaufend aktualisiert werden. Jede Bewegung des Drehpunktes kann mit einem Schwellwert verglichen werden, und ein Warnsignal kann ausgegeben werden oder das Robotersystem kann ausgekoppelt werden, falls der Drehpunkt sich über eine vorgegebene Grenze bewegt. Der Vergleich mit einer vorgegebenen Grenze kann nützlich sein, um festzustellen, ob der Patient bewegt oder das Instrument außerhalb des Patienten gehandhabt wurde, Situationen, die zu Verletzungen des Patienten oder der Personen im Operationsraum führen können.

[0078] Während bestimmte beispielhafte Ausführungsform beschrieben und in den beiliegenden Zeichnungen gezeigt wurden, wird vorausgesetzt, daß solche Ausführungsform nur beschreibend und nicht restriktiv für die weit angelegte Erfindung sind und daß diese Erfindung nicht auf die gezeigten und beschriebenen speziellen Konstruktionen und Anordnungen beschränkt ist, da dem Fachmann verschiedene andere Modifikationen in den Sinn kommen können.

Patentansprüche

1. System mit einem chirurgischen Instrument und einem Anzeigegerät, das es einem Anwender erlaubt, eine Bewegung des chirurgischen Instrumentes fernzusteuern, wobei das chirurgische Instrument Bildsignale an das Anzeigegerät liefert, wobei das System ferner eine Befestigungseinrichtung zum Halten des chirurgischen Instrumentes sowie eine Bewegungseinrichtung (**24**, **30**, **34**, **38**) zum Bewegen der Befestigungseinrichtung und des chirurgischen Instrumentes (**18**) aufweist, wobei die Bewegungseinrichtung eine Ursprungsposition hat und sich in einem ersten Koordinatensystem bewegt, wobei sich das chirugische Instrument in einem anderen Koordinatensystem befindet, wobei das System gekennzeichnet ist durch Eingabemittel (**22**) zum Eingeben eines vom Anwender vorgesehenen Befehls, um das chirurgische Instrument (**18**) in eine gewünschte Richtung relativ zu dem auf dem Anzeigegerät angezeigten Objekt in dem anderen Koordinatensystem zu bewegen; und durch eine Steuereinrichtung (**20**) zum Aufnehmen des das chirurgische Instrument in die gewünschte Richtung bewegenden Befehls, zum Berechnen der Bewegung der Bewegungseinrichtung (**24**, **30**, **34**, **38**) auf der Grundlage des Befehls und der Ausgangsposition der Bewegungseinrichtung, so daß das chirurgische Instrument (**18**) sich in die gewünschte Richtung bewegt, und zum Liefern von Ausgangssignalen an die Bewegungseinrichtung (**24**, **30**, **34**, **38**), um die Bewegungseinrichtung in dem ersten Koordinatensystem zu bewegen, so daß das chirurgische Instrument (**18**) sich stets in die vom Anwender befohlene gewünschte Richtung in dem anderen Koordinatensystem bewegt.

2. System gemäß Anspruch 1, wobei die Bewegungseinrichtung ein Schneckengetriebe (**154**) aufweist, um ein entsprechendes, am chirurgischen Instrument (**18**) befestigtes Lagerelement zu drehen.

3. System gemäß Anspruch 2, wobei die Befestigungseinrichtung eine an dem chirurgischen Instrument (**18**) befestigte und mit einem Manschettenhalter (**146**) gekoppelte Manschette (**148**) aufweist.

4. System gemäß Anspruch 2, wobei die Befestigungseinrichtung ein erstes Gelenk (**30**), das eine Drehung des chirurgischen Instruments (**18**) um eine Längsachse eines ersten Gestängearms (**28**) erlaubt, und ein zweites Gelenk (**34**), das eine Drehung des chirurgischen Instruments (**18**) um eine Achse erlaubt, die senkrecht zu der Längsachse des ersten Gestängearmes (**28**) verläuft, aufweist.

5. System gemäß Anspruch 4, wobei die Steuereinrichtung erste Gelenksensormittel (**54**), die an die Befestigungseinrichtung (**18**) gekoppelt sind, um ein erstes Gelenk-Rückkopplungssignal zu liefern, welches einer ersten Winkelposition des chirurgischen Instruments (**18**) relativ zu einer zweiten X-Achse entspricht, und zweite Gelenksensormittel (**55**), die an die Befestigungseinrichtung (**18**) gekoppelt sind, um ein zweites Gelenk-Rückkopplungssignal zu liefern, welches einer zweiten Winkelposition des chirurgischen Instruments (**18**) relativ zu der zweiten Y-Achse entspricht, aufweist.

6. System gemäß Anspruch 1, wobei die Bewegungseinrichtung einen an der Befestigungseinrichtung befestigten ersten Gestängearm (**28**) und einen ersten Stellantrieb (**30**), welcher den ersten Gestängearm (**28**) in eine Ebene senkrecht zu einer ersten Z-Achse drehen kann, aufweist, wobei der erste Stellantrieb (**30**) mit einem Linearstellantrieb (**24**) gekoppelt ist, welcher die Befestigungseinrichtung entlang einer zur ersten Z-Achse parallelen Achse verschieben kann.

7. System gemäß Anspruch 6, wobei die Steuereinrichtung an den Linearstellantrieb (**24**) gekoppelte erste Stellantriebssensormittel (**46**) zum Liefern eines ersten Rückkopplungssignals, welches einer Position des ersten Stellantriebs (**30**) auf der ersten Z-Achse entspricht, und an den ersten Stellantrieb (**30**) gekoppelte zweite Stellantriebssensormittel (**52**) zum Liefern eines zweiten Rückkopplungssignal, welches einer Position der Befestigungseinrichtung in der zu der ersten Z-Achse senkrechten Ebene entspricht, aufweist.

8. System gemäß Anspruch 7, wobei die Bewegungseinrichtung einen mittels eines zweiten Gestängearms (**36**) am ersten Stellantrieb (**30**) befestigten zweiten Stellantrieb (**34**) aufweist, wobei der zweite Stellantrieb (**34**) den ersten Stellantrieb (**30**) in der Ebene senkrecht zu der ersten Z-Achse drehen kann.

9. System gemäß Anspruch 8, wobei die Steuereinrichtung an den zweiten Stellantrieb (**34**) gekoppelte dritte Stellantriebssensormittel (**50**) aufweist, um ein drittes Rückkopplungssignal zu liefern, welches einer Position des ersten Stellantriebes (**30**) in der zu der ersten Z-Achse senkrechten Ebene entspricht.

10. System gemäß Anspruch 9, das ferner Kupplungsmittel (**96**) aufweist, um den ersten Stellantrieb (**30**) vom Linearstellantrieb (**24**), den zweiten Stellantrieb (**34**) vom ersten Stellantrieb (**30**) und den dritten Stellantrieb (**38**) vom zweiten Stellantrieb (**34**) abzukuppeln, wenn die Kupplungsmittel ein Kupplungseingangssignal empfangen.

11. System gemäß Anspruch 9, wobei der erste, zweite und dritte Stellantrieb (**30**, **34**, **38**) elektrische Motoren sind.

12. System gemäß Anspruch 1, wobei die Steuereinrichtung ein Computer (**20**) ist, der Befehlssignale von den Eingabemitteln (**22**) in dem anderen Koordinatensystem empfängt und in Übereinstimmung mit einem Algorithmus, der die Befehlssignale aus den Eingabemitteln (**22**) transformiert, Ausgangssignale an die Steuereinrichtung liefert, um die Position des chirurgischen Instruments (**18**) in dem ersten Koordinatensystem zu verändern.

13. System gemäß Anspruch 12, welches ferner Speichermittel aufweist, um beim Empfang eines ersten Speichereingangssignals eine erste Position des Endbetätigers zu speichern und beim Empfang eines zweiten Speichereingangssignals den Endbetätiger in die erste Position zu bewegen.

14. System gemäß Anspruch 1, wobei die Eingabemittel ein Fußpedal (**22**) umfassen, welches vom Benutzer gedrückt werden kann, um die Befehlssignale zu erzeugen.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

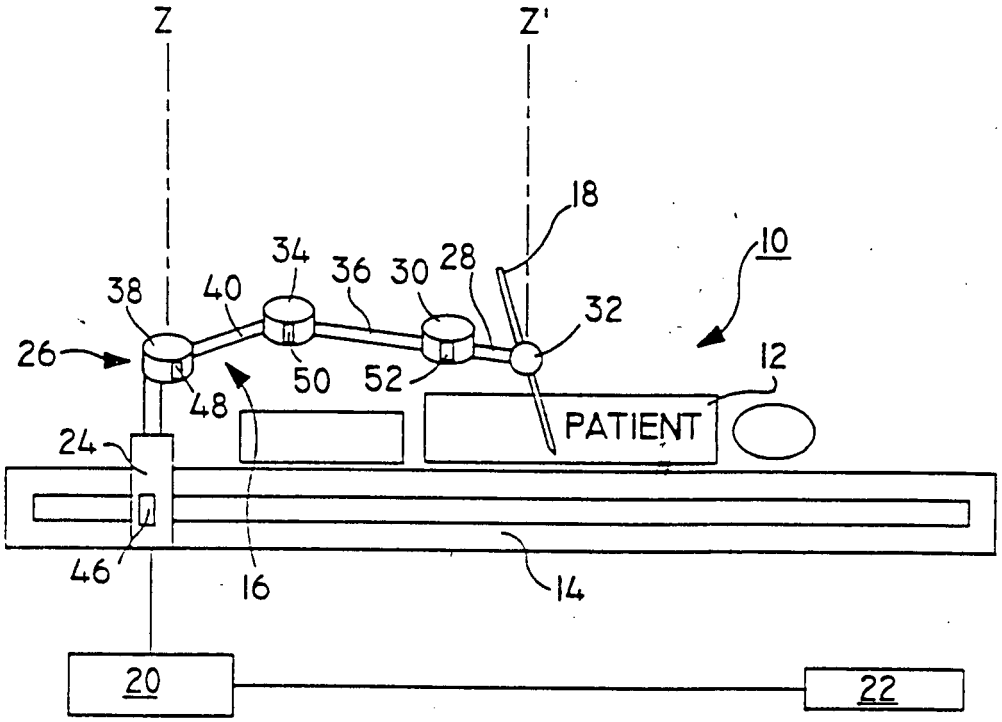


FIG. 1

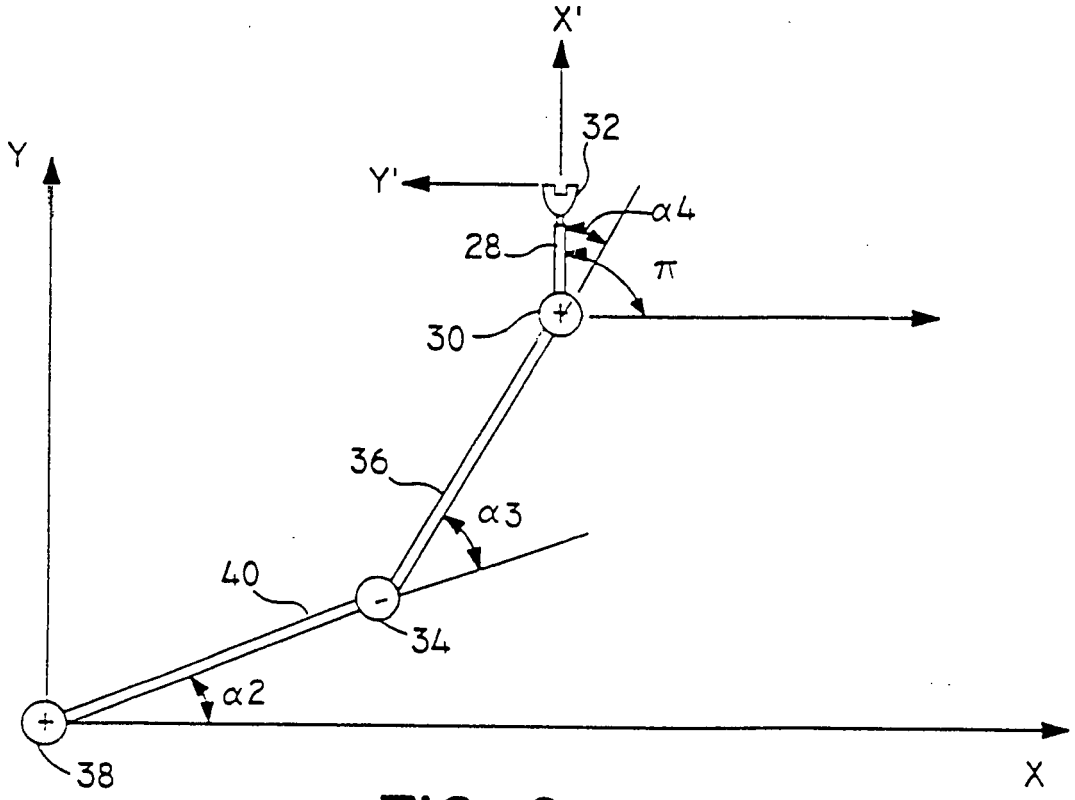


FIG. 2

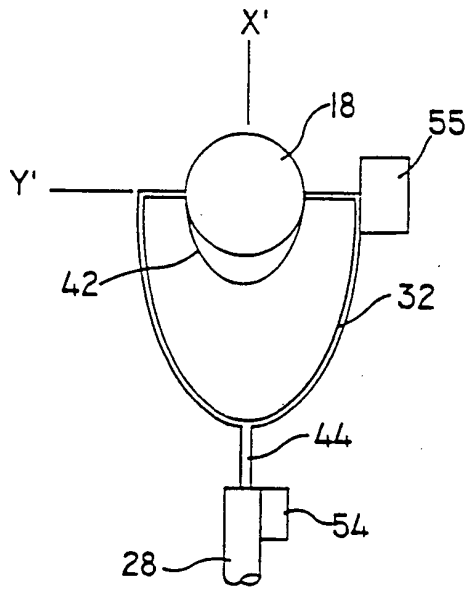


FIG. 3

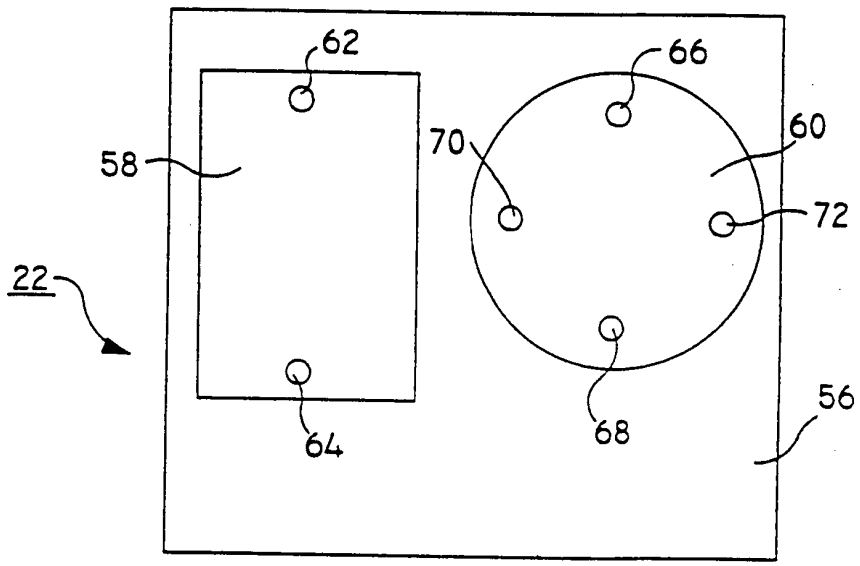


FIG. 4

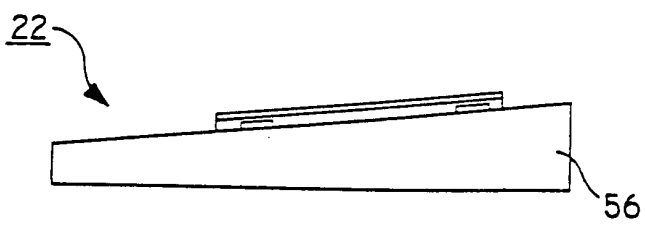


FIG. 5

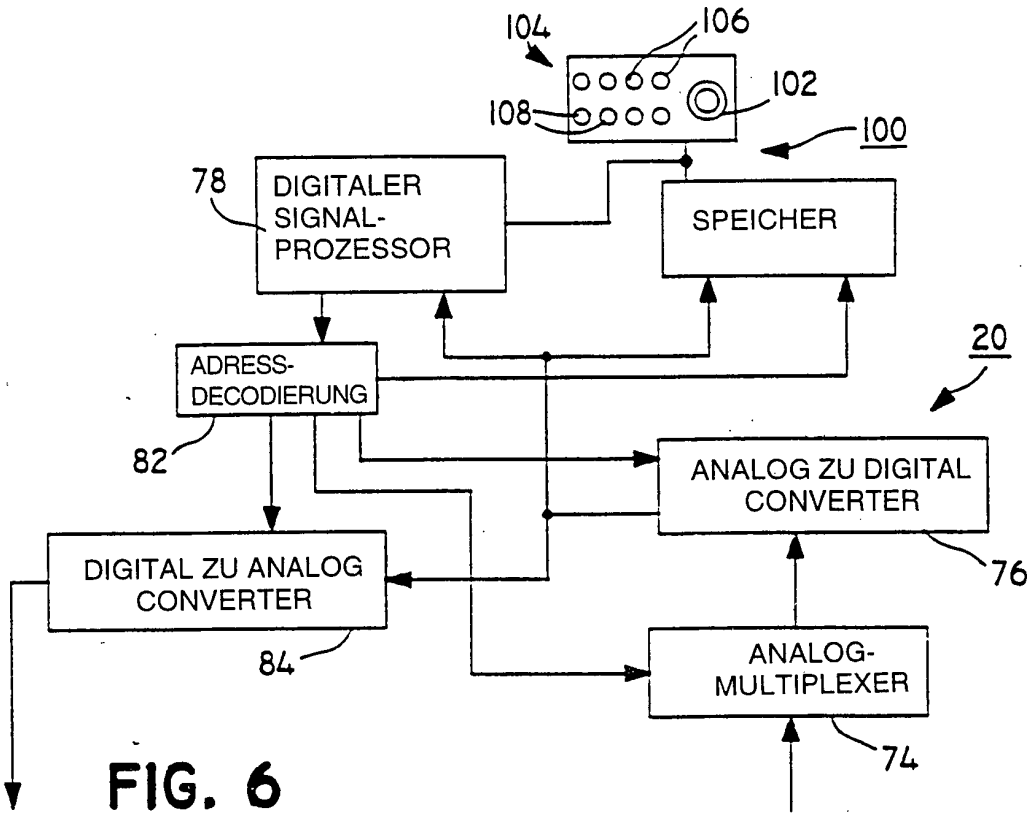

104
106
102
108
100
78
DIGITALER SIGNAL-PROZESSOR
SPEICHER
20
ADRESS-DECODIERUNG
82
ANALOG ZU DIGITAL CONVERTER
76
DIGITAL ZU ANALOG CONVERTER
84
ANALOG-MULTIPLEXER
74

FIG. 6

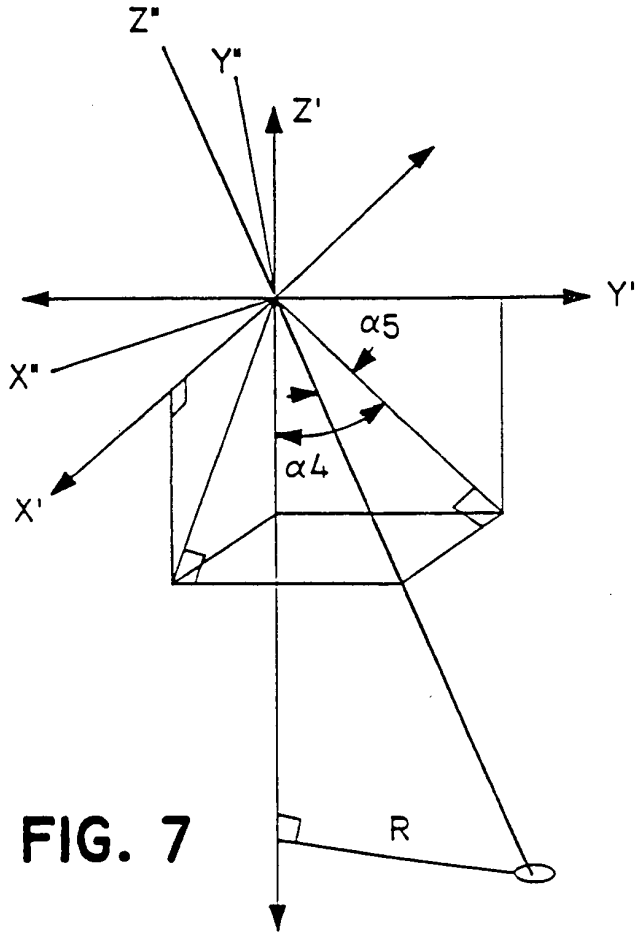
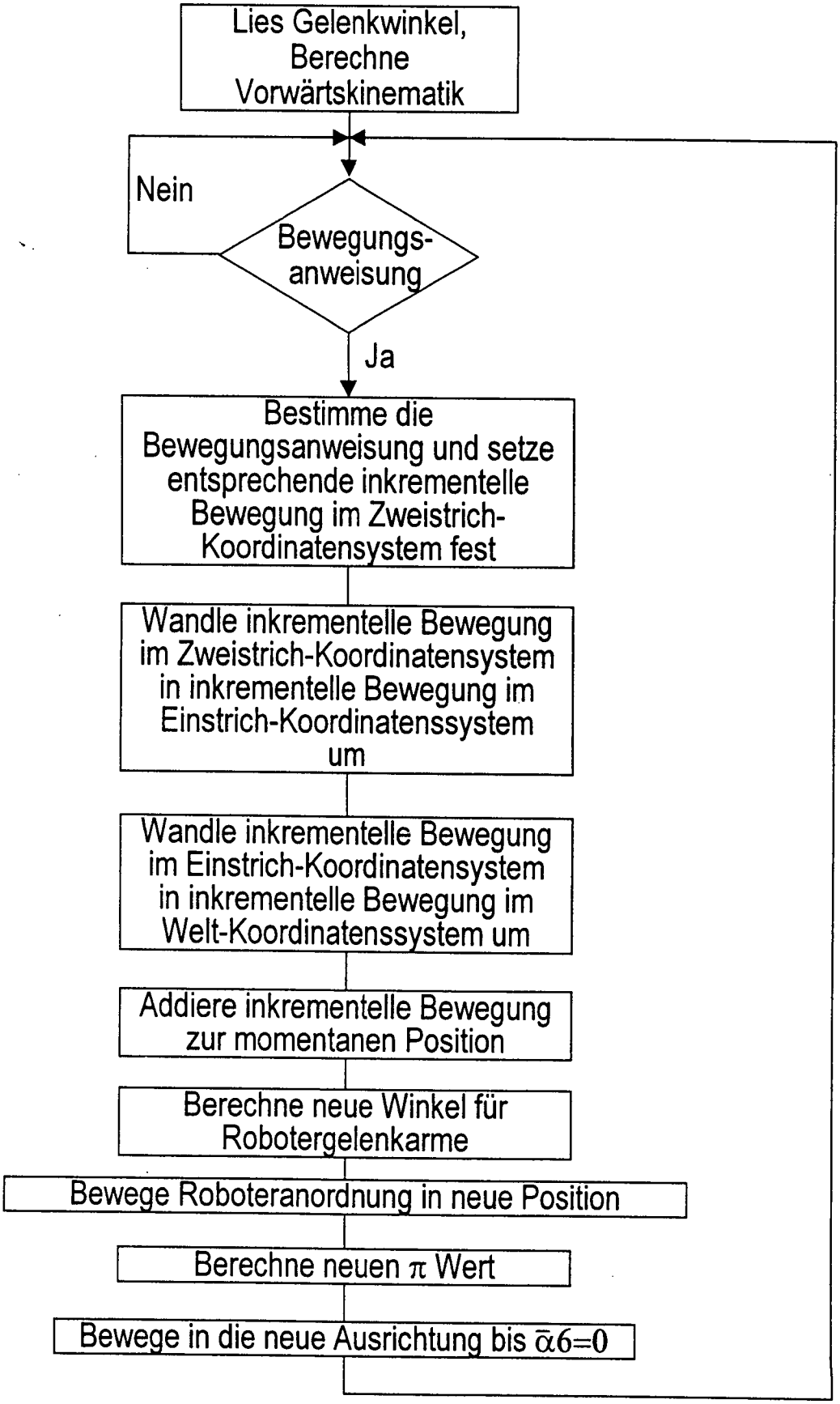

Z"
Y"
Z'
Y'
α5
X"
α4
X'
R

FIG. 7

FIG.8


Lies Gelenkwinkel, Berechne Vorwärtskinematik
Nein
Bewegungs-anweisung
Ja
Bestimme die Bewegungsanweisung und setze entsprechende inkrementelle Bewegung im Zweistrich-Koordinatensystem fest
Wandle inkrementelle Bewegung im Zweistrich-Koordinatensystem in inkrementelle Bewegung im Einstrich-Koordinatenssystem um
Wandle inkrementelle Bewegung im Einstrich-Koordinatensystem in inkrementelle Bewegung im Welt-Koordinatenssystem um
Addiere inkrementelle Bewegung zur momentanen Position
Berechne neue Winkel für Robotergelenkarme
Bewege Roboteranordnung in neue Position
Berechne neuen π Wert
Bewege in die neue Ausrichtung bis $\bar{\alpha}6=0$

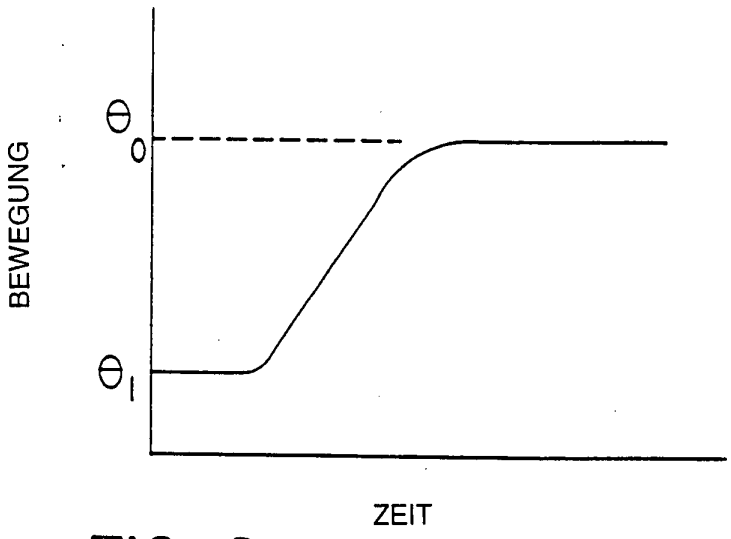


FIG. 9

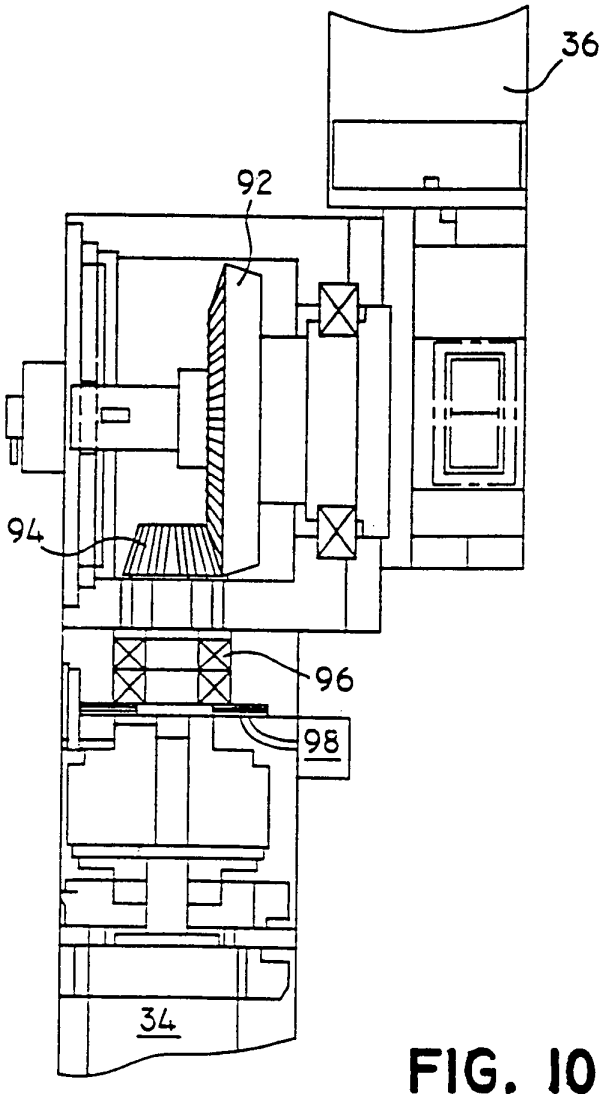


FIG. 10

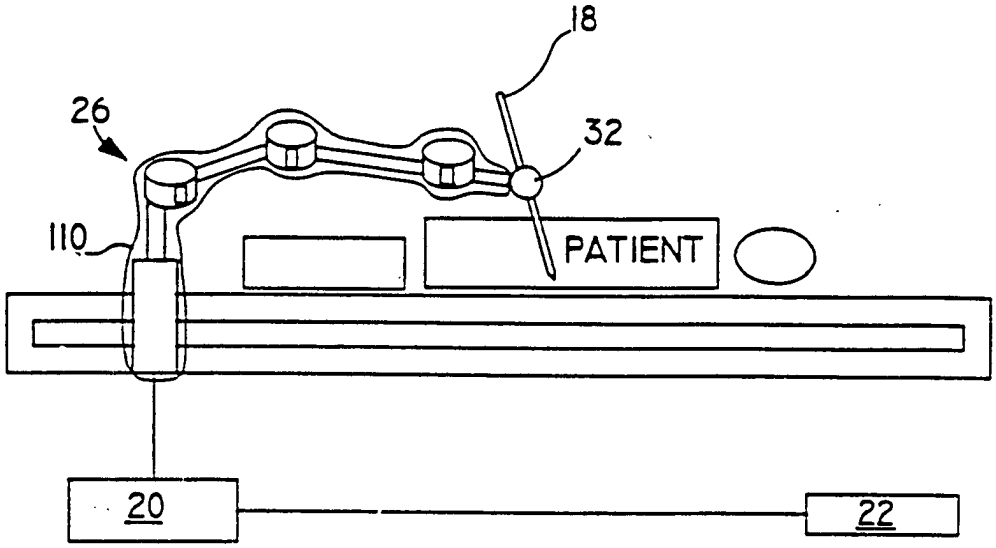


FIG. 11

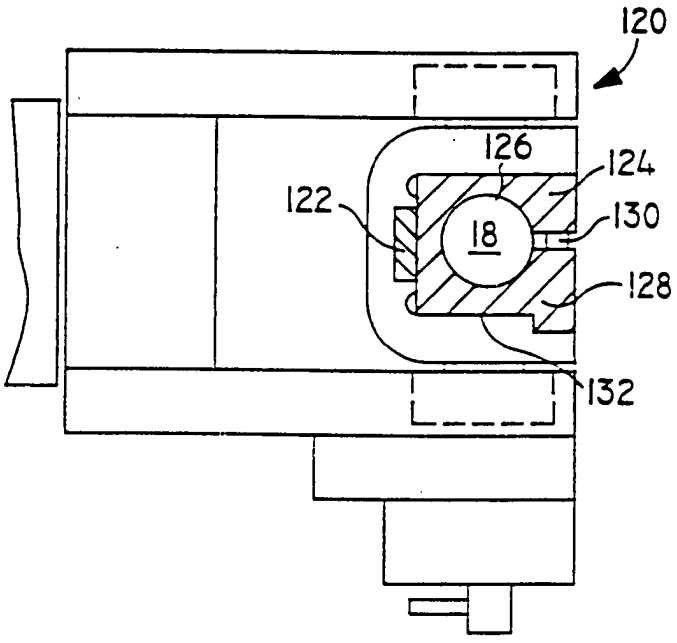


FIG. 12

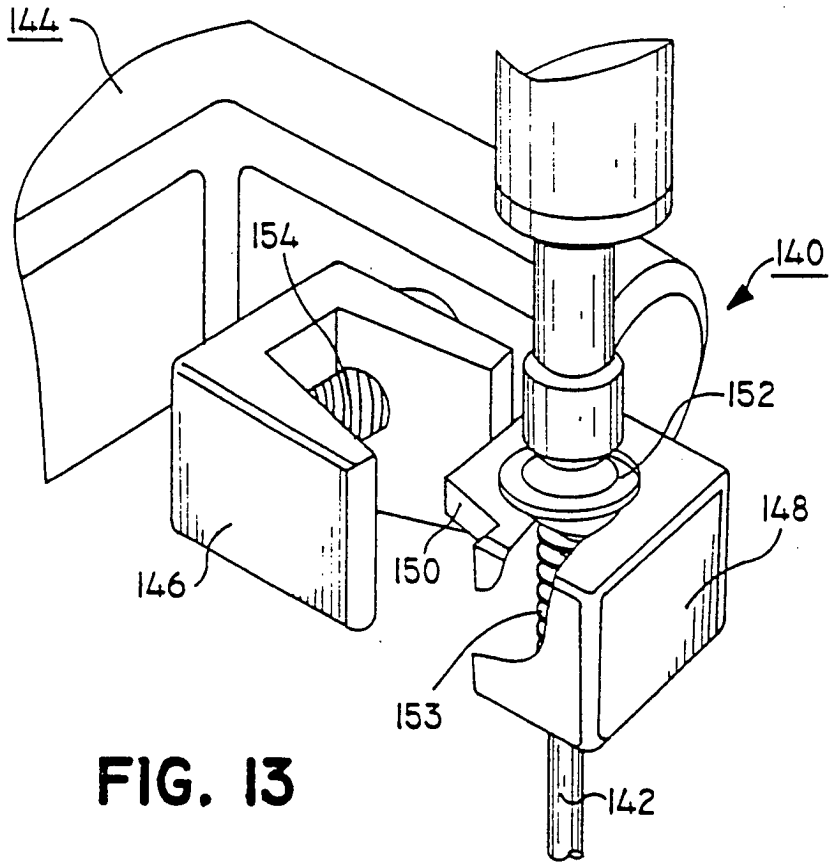


FIG. 13

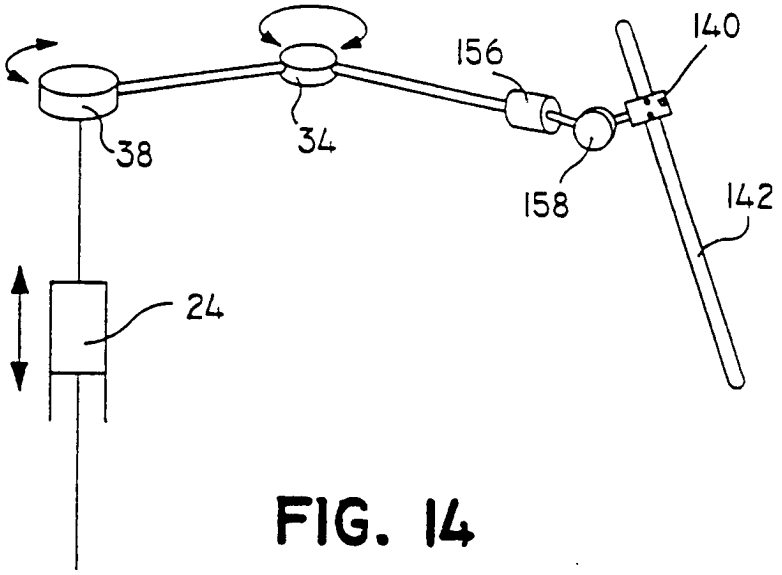


FIG. 14

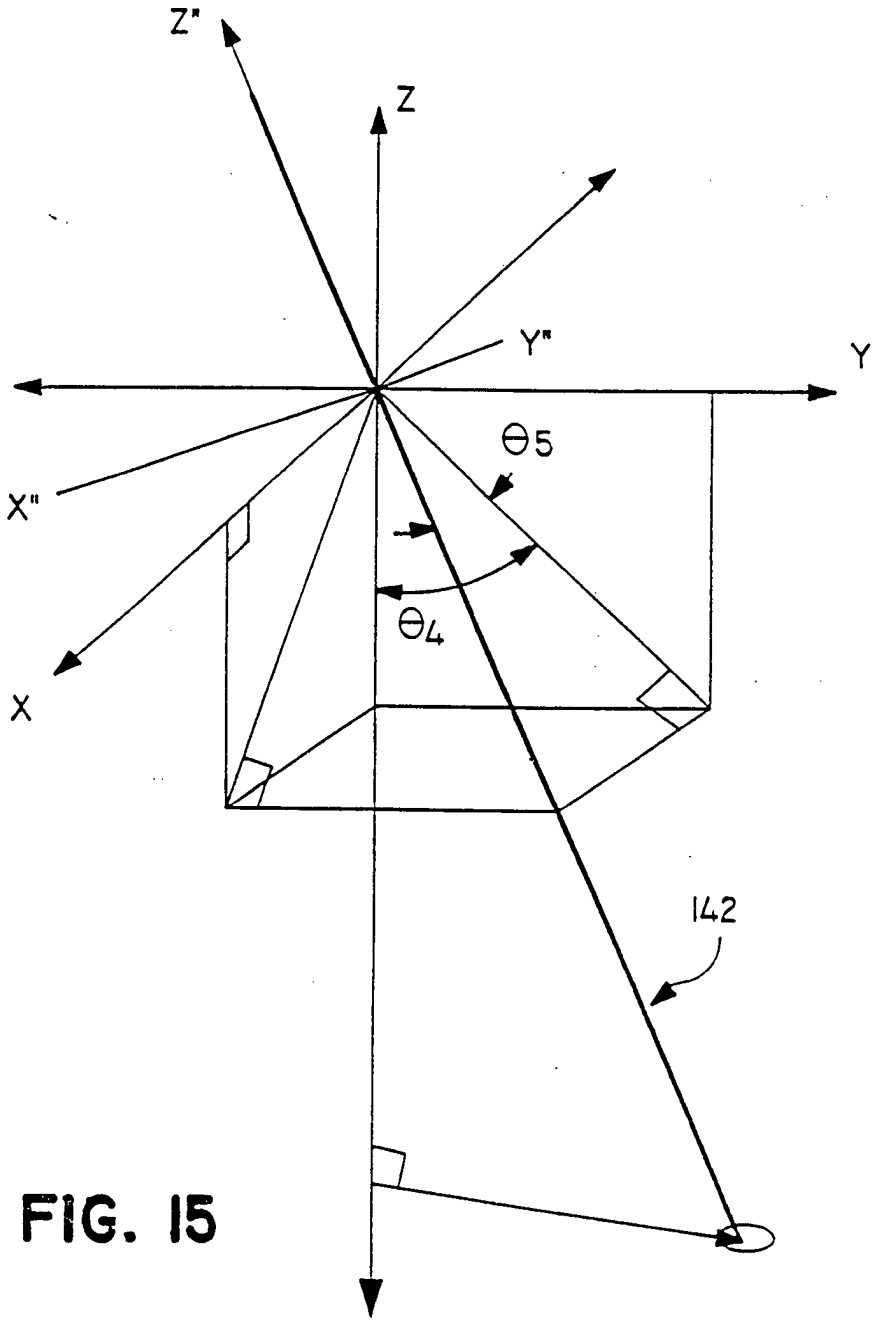


FIG. 15

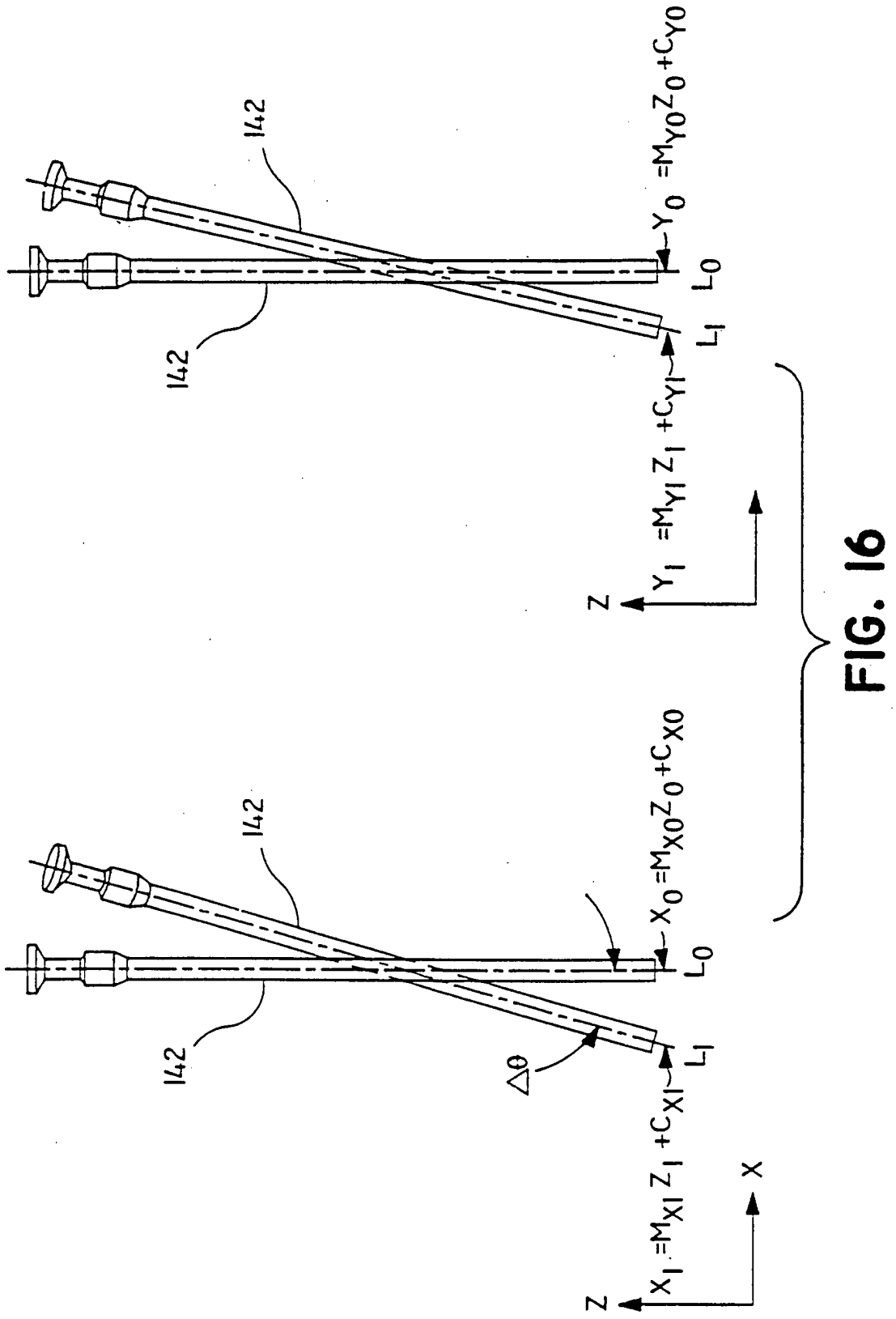

142
142
$Y_0 = M_{Y0} Z_0 + C_{Y0}$
L_0
L_1
$Y_1 = M_{Y1} Z_1 + C_{Y1}$
Z
142
142
$X_0 = M_{X0} Z_0 + C_{X0}$
L_0
L_1
$\Delta\theta$
$X_1 = M_{X1} Z_1 + C_{X1}$
Z
X

FIG. 16