



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 223 386.0**
(22) Anmeldetag: **17.11.2014**
(43) Offenlegungstag: **19.05.2016**

(51) Int Cl.: **A61B 34/10 (2016.01)**
A61B 6/03 (2006.01)
B25J 9/00 (2006.01)

(71) Anmelder:
Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:
WO 2014/ 155 257 A1

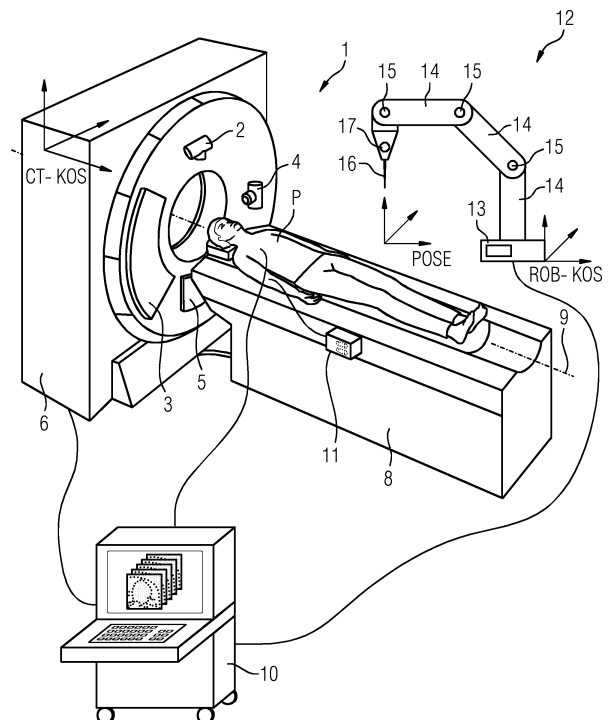
(72) Erfinder:
**Berndt, Jan-Malte, 90427 Nürnberg, DE; Geißler,
Benedikt, 90411 Nürnberg, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Roboterregistrierung bei bildgebenden Modalitäten**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Registrierung von Robotersystemen (12) an bildgebenden Systemen (1), insbesondere Computertomographiesystemen. Die Erfindung betrifft ebenfalls ein dazu geeignetes bildgebendes System, ein Robotersystem und geeignete Marker (17). Die Erfindung ermöglicht eine Registrierung für Robotersysteme, die einfach und schnell ist und ohne zusätzliche Systeme, wie Kameras oder Lasersysteme auskommt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Registrierung von Robotersystemen an bildgebenden Systemen, insbesondere Computertomographiesystemen. Die Erfindung betrifft ebenfalls ein dazu geeignetes bildgebendes System, ein Robotersystem und geeignete Marker.

[0002] Da mittels der Computertomographie hochauflösend und zuverlässig Abbildungen auch kleinster Details des menschlichen Körpers erzeugt werden können, wird die Computertomographie häufig auch im Zusammenhang mit Interventionen oder Operationen eingesetzt. Hauptsächlich werden hier prä- oder postinterventionell Organe, Knochen, Blutgefäße oder Tumore sichtbar gemacht, um eine besonders gute Vorbereitung oder Nachbereitung derartiger Eingriffe zu ermöglichen. Zusätzlich wird jedoch die Computertomographie zunehmend auch während interventioneller Eingriffe verwendet, um Instrumente, Stents oder Katheter im Körper eines Patienten mit hoher Auflösung dreidimensional sichtbar und nachverfolgbar zu machen.

[0003] Der Einsatz eines Mehrschichten-CTs bei medizinischen Interventionen ist bekannt. Aus dem Dokument DE 10 2005 034 683 A1 ist ein Verfahren zur Erzeugung von Computertomographieaufnahmen während einer Intervention offenbart.

[0004] Bei der Verwendung von Computertomographen während medizinischer Interventionen oder chirurgischer Eingriffe besteht jedoch häufig das Problem, dass eine CT-Gantry mit einem Aufnahmesystem sehr viel Platz benötigt und unflexibel in ihrer Positionierbarkeit ist, so dass für den Arzt, der die Intervention durchführt, nur ein erschwelter Zugang zu dem Patienten möglich ist.

[0005] Computerassistierte Chirurgie (englisch computer assisted surgery, CAS) repräsentiert ein chirurgisches Konzept und eine Reihe von Methoden, bei denen Computer-Technologie zur Operationsplanung und zum Leiten oder für die Ausführung chirurgischer Eingriffe genutzt wird. Dazu gehört auch die Durchführung chirurgischer Eingriffe durch Robotersysteme.

[0006] Bei der CAS ist der eigentliche Eingriff als chirurgische Navigation definiert. Diese besteht aus dem Zusammenspiel der Aktionen des Chirurgen und des chirurgischen Roboters, welcher während der präoperativen Planung programmiert wurde bestimmte Aktionen auszuführen. Die Ansteuerung des Roboters kann in drei Typen eingeteilt werden: direkt beaufsichtigte, telechirurgische und Shared-gesteuerte. Bei einem Aufsichts-gesteuerten System, wird die Operation ausschließlich vom Roboter ausgeführt, der vorprogrammierte Bewegungen ausführt.

Bei Telechirurgie, auch als ferngesteuerte Chirurgie bekannt, programmiert der Chirurg während der Prozedur die Roboterarme direkt, statt zuzulassen, dass die Roboterarme nach einem vorgegebenen Programm arbeiten. Bei Shared-Steuerung führt der Chirurg das Verfahren mittels des Roboters durch, indem er ihn direkt über eine stationäre Handsteuerung lenkt. Bei den meisten Robotern kann der Arbeitsmodus für jede einzelne Maßnahme in Abhängigkeit von der chirurgischen Komplexität und den Besonderheiten des Falles gewählt werden.

[0007] Die Druckschriften EP 2 561 821 A1, US 2006/0149147 A1 und US 2009/0088773 A1 stellen jeweils verschiedene Robotersysteme für die CAS in Zusammenarbeit mit Computertomographiegeräten und/oder C-Bogensystemen vor. Dabei werden verschiedene Greif- und Hilfswerkzeuge vorgestellt, zum Beispiel Pinzetten-artige, sehr präzise Greifer oder Sonden zur Entnahme von Gewebeproben aus Tumorgewebe.

[0008] Gerade bei mikrochirurgischen Eingriffen, bei denen der Chirurg den Roboter nicht selbst steuert, ist es von großer Bedeutung, dass das Steuersystem die Position des Roboters genau kennt. Die Stellung der Arme des Roboters ist dabei meist über Sensoren in den Roboterarmen selbst bekannt. Wichtig ist aber auch, die Orientierung des Roboters bezüglich des bildgebenden Systems.

[0009] Üblicherweise erfolgt die Koordinierung des Roboters bezüglich des bildgebenden Systems über ein Kamera- oder Lasersystem, wobei mit einem speziellen Marker die interessierenden Punkte markiert und mittels des Kamerasystems verfolgt werden. Die einzelnen Marker können dann über das Kamerasystem in Bezug gesetzt werden. Nachteilig ist dabei, dass ein eigenes System (Kamera/Laser) benötigt wird und man zudem mit mehreren Bezugssystemen arbeiten muss (Kamera, Roboter, Patientenaufnahme).

[0010] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Registrierung für Robotersysteme vorzuschlagen, die einfach und schnell ist und ohne zusätzliche Systeme auskommt.

[0011] Diese Aufgabe wird gelöst durch das Verfahren gemäß Anspruch 1, durch das bildgebende System gemäß Anspruch 7, durch das Robotersystem gemäß Anspruch 11 und einen Marker gemäß Anspruch 14.

[0012] Nachstehend wird die erfindungsgemäße Lösung der Aufgabe in Bezug auf die beanspruchten Vorrichtungen als auch in Bezug auf das beanspruchte Verfahren beschrieben. Hierbei erwähnte Merkmale, Vorteile oder alternative Ausführungsformen sind ebenso auch auf die anderen beanspruchten Gegen-

stände zu übertragen und umgekehrt. Mit anderen Worten können die gegenständlichen Ansprüche, die beispielsweise auf ein System gerichtet sind, auch mit den Merkmalen, die in Zusammenhang mit einem Verfahren beschrieben oder beansprucht sind, weitergebildet sein. Die entsprechenden funktionalen Merkmale des Verfahrens werden dabei durch entsprechende gegenständliche Module ausgebildet.

[0013] Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich zur Registrierung von Robotersystemen an bildgebenden Systemen, insbesondere Computertomographiesystemen. Dabei eignet sich die Erfindung für jedweden Roboter, sofern eine Positionsbestimmung des Tool Center Points (TCP) anhand der Achsenstellungen eindeutig bestimmt werden kann und auch die Position des Roboterfußes im Raum eindeutig zu bestimmen ist. Dies wird bei den meisten Robotersystemen der Fall sein, da diese fest installiert sind. Mobile Robotersysteme sind für gewöhnlich zumindest für die Zeit, in der sie Arbeiten ausführen, ortsfest positioniert, d.h. es bewegen sich nur die Arme oder Gelenkelemente des Roboters, die Basis verbleibt an einer Stelle.

[0014] Das bildgebende System umfasst unter anderem eine Bildaufnahmevorrichtung und eine Patientenaufnahme. Die Bildaufnahmevorrichtung kann zum Beispiel die Gantry eines Computertomographiegeräts sein. Die Patientenaufnahme ist dazu ausgelegt ein Untersuchungsobjekt, im Allgemeinen einen Patienten, während eines Eingriffs im Rahmen der Computerassistierten Chirurgie aufzunehmen und entlang der Systemachse zu positionieren. Bei der Aufnahme durch ein Computertomographiegerät rotieren eine Strahlungsquelle und ein mit der Strahlungsquelle zusammenwirkender Strahlungsdetektor um die Systemachse. Die Strahlungsquelle emittiert dabei Strahlung der Art und Weise, dass diese Strahlung für den Strahlungsdetektor grundsätzlich detektierbar ist. Die Strahlung wird durch das jeweilige Untersuchungsobjekt geschwächt, insbesondere durch Absorption und Reflexion der Strahlung. Die vom Detektor aufgenommenen Daten werden zu einem Absorptionbild zusammengesetzt und auf einem Terminal angezeigt.

[0015] Dem bildgebenden System kann ein Koordinatensystem zugeordnet werden, welches im Wesentlichen durch die Orientierung der Bildaufnahmevorrichtung im Raum definiert wird. Es bietet sich an eine Achse entlang der Systemachse anzuordnen und zwei weitere Koordinatenachsen jeweils senkrecht dazu und zueinander.

[0016] Um eine präzise Handlung des Roboters zu gewährleisten, muss das System wissen, wo im Raum der Roboter positioniert ist. Die Stellung der Arme und somit die Orientierung des Roboters bezüglich seines eigenen Koordinatensystems, welches

den ortsfesten Fuß des Roboters als Basis hat, ist somit bekannt.

[0017] Die Position der Spitze des Roboters, die ein Greif-, Schneide oder sonstiges Werkzeug umfassen kann, ist somit durch ein sogenanntes POSE definiert. Die POSE ist ein Wert, der einen Punkt mit Orientierung im Raum beschreibt. Dieser Wert besteht aus sechs Einträgen. Die ersten drei beschreiben die Koordinaten im Raum (x, y, z), Eintrag vier bis sechs die Orientierung im Raum. Bei letzteren gibt es verschiedene Möglichkeiten, dies zu beschreiben. Ein Beispiel wäre die Anwendung von Euler Winkeln in einer bestimmten Konvention.

[0018] Das Problem ist nun, die POSE und das Koordinatensystem des bildgebenden Systems in Beziehung zu setzen. Erfindungsgemäß geschieht das dadurch, dass die Bildaufnahmevorrichtung des bildgebenden Systems verwendet wird, um die Lage des Robotersystems im Raum bezüglich des Koordinatensystems der Bildaufnahmevorrichtung zu definieren.

[0019] Dazu muss das bildgebende System in der Lage sein, den Roboter oder zumindest einen Teil davon zu erfassen und somit die Lage des Roboters innerhalb des aufgenommenen Bildes zu erfassen. Dann kann die Position des Roboters prinzipiell mit der mit dem Koordinatensystem der Bildaufnahmevorrichtung koordiniert werden.

[0020] Im Allgemeinen jedoch kann die Spitze des Roboters jedoch nicht so einfach mittels der Bildaufnahmevorrichtung detektiert werden. Mithin soll der Roboter die Aufnahme ja so wenig wie möglich beeinflussen, um keine Einbußen an Bildqualität hinnehmen zu müssen.

[0021] Daher sieht eine besonders bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vor, dass für die Definition der Lage des Robotersystems im Koordinatensystem des bildgebenden Systems zumindest ein Marker verwendet wird, welcher durch die Bildaufnahmevorrichtung detektiert werden kann.

[0022] Besonders vorteilhaft ist es, wenn ein Marker verwendet wird, der die Lage im Raum eindeutig wiedergibt. Mit einem solchen Marker ist es möglich, die Position des Roboters mit nur einer einzigen Aufnahme mittels der Bildaufnahmevorrichtung zu bestimmen.

[0023] Andernfalls kann man mit einem beliebigen Marker zumindest an drei verschiedenen Positionen Aufnahmen mittels der Bildaufnahmevorrichtung vornehmen. Auf diese Weise kann dann die Position des Roboters im Koordinatensystem der Bildaufnahmevorrichtung eindeutig bestimmt werden.

[0024] Die Registrierung, wie sie bei einem Roboter durchgeführt wird, kann auch mit mehreren Robotern durchgeführt werden. Sind mehrere Roboter zuvor bereits zueinander ausreichend registriert, so reicht die Registrierung eines Roboters zum Koordinatensystem der Bildaufnahmevorrichtung, um das System insgesamt vollständig zu definieren. Durch die Gestaltung von unterschiedlichen Markern lässt sich eine eindeutige Bestimmung eines Roboters realisieren. In einer Aufnahme können zwei oder mehr Marker voneinander unterschieden werden und eine gleichzeitige Registrierung ist möglich.

[0025] Zu der Erfindung gehört auch ein bildgebendes System, insbesondere ein Computertomographiesystem, welches bei CAS-Verfahren üblicherweise zumindest ein Robotersystem umfasst. Typischerweise umfasst das bildgebende System eine Bildaufnahmevorrichtung und eine Patientenaufnahme, wobei das bildgebende System durch seine Orientierung im Raum ein Koordinatensystem definiert. Das zumindest eine Robotersystem sollte zumindest während des Operationsbetriebs an einem auf der Patientenaufnahme positionierten Patienten an einem Ende ortfest positioniert sein.

[0026] Erfindungsgemäß ist an dem nicht ortsfesten Ende des zumindest einen Roboters ein Marker befestigt ist. Dabei ist unumgänglich, dass der Marker durch die Bildaufnahmevorrichtung detektierbar ist, und dass das bildgebende System derart ausgebildet ist, dass durch die Aufnahme des Markers durch die Bildaufnahmevorrichtung die Position des Roboters bezüglich des Koordinatensystems des bildgebenden Systems definierbar ist.

[0027] Das ist natürlich insbesondere dann der Fall, wenn der oder die Marker ihre Lage im Raum eindeutig wiedergeben, so dass die Position des oder jedes Roboters bezüglich des Koordinatensystems des bildgebenden Systems durch eine einzige Aufnahme durch die Bildaufnahmevorrichtung definierbar ist.

[0028] Mit dem erfindungsgemäßen bildgebenden System können auch mehrere Roboter betrieben werden, wobei jeder Roboter idealerweise einen eigenen, durch die Bildaufnahmevorrichtung unterscheidbaren Marker aufweisen sollte, so dass jeweils die Position jedes Roboters bezüglich des Koordinatensystems des bildgebenden Systems durch die Aufnahme des jeweiligen Markers durch der Bildaufnahmevorrichtung definierbar ist.

[0029] Das erfindungsgemäße bildgebende System eignet sich besonders für mikrochirurgische, minimal-invasive Interventionen.

[0030] Zu der Erfindung gehört auch ein Robotersystem, welches zur Durchführung des oben beschriebenen Verfahrens und zur Verwendung mit einem oben

beschriebenen bildgebenden System geeignet ist. Ein Ende des Roboters, d.h. der Fuß oder die Befestigung sollte idealerweise zumindest während einer Aktion an einem auf der Patientenaufnahme positionierten Patienten ortfest positioniert sein. Erfindungsgemäß ist an dem nicht ortsfesten Ende des Roboters ein Marker befestigt ist, der Marker durch die Bildaufnahmevorrichtung detektierbar ist. Dadurch ist durch die Aufnahme des Markers durch die Bildaufnahmevorrichtung des bildgebenden Systems die Position des Roboters bezüglich des Koordinatensystems des bildgebenden Systems eindeutig definierbar.

[0031] Besonders bevorzugt wird eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Robotersystems, die einen Marker aufweist, der seine Lage im Raum eindeutig wiedergibt, so dass die Position des Roboters bezüglich des Koordinatensystems des bildgebenden Systems durch eine einzige Aufnahme durch die Bildaufnahmevorrichtung definierbar ist.

[0032] Besonders vorteilhaft ist das erfindungsgemäße Robotersystem für mikrochirurgische, minimal-invasive Interventionen.

[0033] Die Mindestanforderung für den Marker sind drei durch das Aufnahmegerät gut zu erkennende Punkte. Zu bevorzugen wäre eine Anordnung, welche sicherstellt, dass durch ebendiese Punkte zwei Vektoren aufgespannt werden, welche zueinander orthogonal sind. Dabei liegt der eine Punkt auf dem Schnittpunkt beider Vektoren. Die Punkte sollten zusätzlich auch so klein wie möglich sein, um Ungenauigkeiten zu vermeiden, gleichzeitig aber so groß, dass sie zuverlässig von der Bildaufnahmevorrichtung erkannt werden können. Weiter auseinanderliegende Punkte erhöhen die Genauigkeit.

[0034] Die drei Punkte müssen im aufgenommenen Bild klar von der übrigen Struktur, insbesondere also vom Gewebe des Patienten, unterscheidbar sein. Das lässt sich durch die richtige Form- oder Materialauswahl realisieren. Bei Materialien, die im Bild vergleichsweise wenig Kontrast zu der übrigen Struktur haben, wie etwa Kunststoff oder Kohlefaser, verwendet man Formen, die leicht im Bild wiederzuerkennen und somit leicht zu identifizieren sind. Das können zum Beispiel Dreiecke oder Quadrate sein, insbesondere mit Kugeln in den Ecken. Diese Strukturen sind so speziell, dass sie leicht aufzufinden sind und auch nicht zu anderen Strukturen, insbesondere dem Patienten gehören können. Das Material sollte wenn möglich keine Artefakte bei der Bildgebung erzeugen, da sonst die Genauigkeit leidet. Kunststoff, Kohlefaser oder Polyester sind hier besonders zu bevorzugen. Aber auch kleine metallische Gegenstände, zum Beispiel kleine Kugeln aus Kugellagern können verwendet werden, sofern die metallischen Gegenstände klein genug sind. Bevorzugt werden sollten Marker aus einem Material, dass einerseits nicht

so dicht ist, dass sämtliche Röntgenstrahlung absorbiert wird, andererseits aber auch nicht für Röntgenstrahlung fast durchlässig ist. Andernfalls ist der Marker im Röntgenbild nicht genau zu erkennen.

[0035] Sofern die Bewegung von Bildaufnahmevorrichtung und Roboter relativ und genau messbar zueinander erfolgt, so reicht eine einfache Registrierung. Somit ist auch eine Registrierung vor jeder Aufnahme nicht erforderlich. Lediglich undefinierte Bewegungen (z.B. Neumontage des Roboters o.Ä.) machen eine Neu-Registrierung nötig.

[0036] Es zeigen:

[0037] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen bildgebenden Systems;

[0038] Fig. 2 eine schematische Darstellung der Koordinatensysteme vor der Registrierung;

[0039] Fig. 3 eine schematische Darstellung der Koordinatensysteme nach der Registrierung;

[0040] Fig. 4 eine schematische Darstellung zweier Ausführungsbeispiele erfindungsgemäßer Marker.

[0041] Fig. 1 zeigt ein erfindungsgemäßes bildgebendes System, in dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel ein Computertomographie-System **1**. In den hier gezeigten Beispielen liegt ein Patient P bei der Aufnahme von Messdaten auf einer Patientenliege **8**. Die Patientenliege **8** ist dazu ausgelegt den Patienten P während einer tomographischen Aufnahme entlang einer Systemachse **9** zu verfahren. Bei der Aufnahme der Messdaten rotieren eine Strahlungsquelle **2** und ein mit der Strahlungsquelle **2** zusammenwirkender Strahlungsdetektor **5** um die Systemachse **9**. Die Strahlungsquelle **2** emittiert dabei Strahlung der Art und Weise, dass diese Strahlung für den Strahlungsdetektor **5** grundsätzlich detektierbar ist. Die Strahlung wird durch das jeweilige Untersuchungsobjekt geschwächt, insbesondere durch Absorption und Reflexion der Strahlung.

[0042] Bei dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel mit einem Computertomographen handelt es sich bei dem Röntgendetektor um einen Detektor mit mehreren Zeilen und Spalten. Die Röntgendetektoren können jeweils sowohl als Szintillatorzähler als auch als direkt konvertierende Röntgendetektoren ausgebildet sein. Weiterhin können sie als zählende Röntgendetektoren ausgebildet sein, welche dazu ausgelegt sind einzelne Photonen zu detektieren und zu zählen. Weiterhin verfügt der Computertomograph in dem in Fig. 1 gezeigten Beispiel über zwei Paare von miteinander zusammenwirkender Strahlungsquellen **2, 4** in Form von Röntgenröhren und von Strahlungsdetektoren **5, 4** in Form von Röntgen-

detektoren. Dadurch ist der hier gezeigte Computertomograph besonders geeignet für Mehrfachenergie-Aufnahmen, bei denen die beiden Röntgenröhren jeweils Röntgenstrahlung mit einem unterschiedlichen Energiespektrum emittieren. In weiteren, hier nicht gezeigten Ausführungsformen verfügt der Computertomograph eines erfindungsgemäßen Computertomographie-Systems **1** nur über jeweils eine Röntgenröhre als Strahlungsquelle und einen Röntgendetektor als Strahlungsdetektor. Bei einem Computertomographen sind Röntgenröhre und Röntgendetektor in die Gantry **6** integriert. Die Gantry **6** des Computertomographen kann so ausgebildet sein, dass sie um wenigstens eine Achse senkrecht zur Systemachse **9** kippbar ist. Die Ausrichtung der Gantry im Raum definiert das Koordinatensystem CT-KOS der Bildaufnahmevorrichtung **6**.

[0043] Zusätzlich verfügt das hier dargestellte Computertomographie-System **1** auch über einen Kontrastmittelinjektor **11** zur Injektion von Kontrastmittel in den Blutkreislauf des Patienten P. Dadurch können die Messdaten mittels eines Kontrastmittels derart aufgenommen werden, dass z.B. die Gefäße des Patienten P mit einem erhöhten Kontrast dargestellt werden können. Weiterhin umfasst ein erfindungsgemäßes Computertomographie-System einen Computer **10**, der auch als Workstation bezeichnet wird. Der hier gezeigte Computer **10** ist ausgelegt zur Ansteuerung der einzelnen Einheiten des Computertomographie-Systems wie z.B. zur Ansteuerung der Patientenliege **8**, des Kontrastmittelinjektors **11** und der Röntgenröhre sowie dem Röntgendetektor. Der Computer **10** ist mit einer Ausgabeeinheit sowie einer Eingabeeinheit verbunden. Bei der Ausgabeeinheit handelt es sich beispielsweise um einen (oder mehrere) LCD-, Plasma- oder OLED-Bildschirm(e). Die Ausgabe auf der Ausgabeeinheit umfasst beispielsweise eine graphische Benutzeroberfläche oder die Ausgabe von Bilddaten. Die Eingabeeinheit ist ausgelegt zur Eingabe von Daten wie z.B. Patientendaten sowie zur Eingabe und Auswahl von Parametern für die einzelnen Einheiten des Computertomographie-Systems. Bei der Eingabeeinheit handelt es sich beispielsweise um eine Tastatur, eine Maus, einen sogenannten Touchscreen oder auch um ein Mikrofon zur Spracheingabe.

[0044] Weiter gehört zum erfindungsgemäßen Computertomographie-System ein Robotersystem **12**. Das Robotersystem ist mit einem Fuß **13** auf ortsfest entweder auf dem Boden, an einer Wand oder an der Decke befestigt oder festgestellt. Die einzelnen Armelemente **14** des Robotersystems **12** sind durch Gelenke **15** verbunden.

[0045] An dem erfindungsgemäßen Robotersystem **12** ist ein Marker **17** angeordnet. Um die Lage des Roboters im Raum bezüglich des Koordinatensystems CT-KOS der Gantry **6** zu definieren muss die

Bildaufnahmevorrichtung (Gantry) **6** durch seine eigenen Aufnahmen den Marker **17** identifizieren. Der Marker **17** kann unterschiedlich ausgeprägt sein. Das Zusammenspiel aus Marker **17** und aufgenommenen Bild ergibt die genaue Lage des Robotersystems **12** im Raum in Bezug zum Koordinatensystem CT-KOS der Gantry **6**. Das Zusammenspiel aus Marker **17** und Aufnahme kann unterschiedlich ausgeprägt sein. Es bedarf immer einer aus den Aufnahmen eindeutig erkennbaren Lage des Roboters **12** im Raum. Die kann beispielsweise wie folgt beschrieben erreicht werden:

- ein Marker **17** (Punkt) wird mehrmals aber mindestens dreimal an jeweils unterschiedlicher Position in einer oder mehreren Aufnahmen erfasst.
- Ein Marker **17** ist so ausgeprägt, dass dieser mit einer Aufnahme die Lage im Raum eindeutig wiedergibt

[0046] Die einzelnen Elemente **14** des Roboters **12** (Mehrkörpersystem) kennen ihre Stellung zu einander. Die kinematische Kette ist des Roboters **12** ist somit durchgehend bekannt. Dies trifft auch auf die Position des Markers **17** an dem Roboter **12** zu.

[0047] Die Position des Werkzeugs **16** am Robotersystem **12** lässt sich durch eine sogenannten POSE beschreiben. Die POSE ist ein Wert, der einen Punkt mit Orientierung im Raum beschreibt. Dieser Wert besteht aus sechs Einträgen. Die ersten drei beschreiben die Koordinaten im Raum (x, y, z), Eintrag vier bis sechs die Orientierung im Raum. Bei letzteren gibt es verschiedene Möglichkeiten, dies zu beschreiben. Ein Beispiel wäre die Anwendung von Euler Winkeln in einer bestimmten Konvention.

[0048] Wird nun z.B. ein Bild von dem 3D Marker **17** gemacht oder mehrere Bilder von einem Punkt Marker **17** an verschiedenen Positionen, ist die Ausrichtung des Roboters **12** zum Bildkoordinatensystem CT-KOS bekannt. Ist einmal der Bezug des Bildkoordinatensystem CT-KOS zum Roboterkoordinatensystem ROB-KOS geschaffen, kann der Roboter **12** jeden Punkt in den Aufnahmen der Gantry **6** ansteuern.

[0049] In Fig. 2 ist schematisch die Situation vor der Registrierung des Robotersystems gezeigt. Das Basis-Koordinatensystem CT-KOS wird durch die Bildaufnahmevorrichtung **6** und seine Orientierung im Raum definiert.

[0050] Das Roboter-Koordinatensystem ROB-KOS ist zunächst einmal beliebig im Raum orientiert. Lediglich die Basis wird durch den ortsfesten Fuß **13** des Robotersystems **12** festgelegt. Da die Roboterelemente **14** ihre Position im Raum übermitteln, ist auch die Position der Spitze des Robotersystems **12** bekannt. Diese lässt sich durch eine sogenannte POSE beschreiben. Zunächst sind die Koordinatensysteme ROB-KOS bzw. POSE und CT-KOS noch unabhängig voneinander.

[0051] In Fig. 3 ist schematisch die Situation nach der Registrierung des Robotersystems gezeigt. Das Koordinatensystem POSE der Spitze des Robotersystems **12** und das Koordinatensystem CT-KOS des bildgebenden Systems bzw. der Bildaufnahmevorrichtung **6** sind koordiniert. Somit ist der Bezug des Bildkoordinatensystems CT-KOS zum Roboterkoordinatensystem ROB-KOS geschaffen, so dass der Roboter **12** jeden Punkt in den Aufnahmen der Bildaufnahmevorrichtung **6** ansteuern kann. In Fig. 4 sind schematisch zwei Beispiele für mögliche Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Markers **17** gezeigt.

[0052] Die Mindestanforderung für den Marker **17** sind drei durch das Aufnahmeggerät gut zu erkennende Punkte **18**. Zu bevorzugen wäre eine Anordnung, welche sicherstellt, dass durch ebendiese Punkte **18** zwei Vektoren aufgespannt werden, welche zueinander orthogonal sind. Dabei sollte der eine Punkt **18** auf dem Schnittpunkt beider Vektoren liegen. Die Punkte **18** sollten zusätzlich auch so klein wie möglich sein, um Ungenauigkeiten zu vermeiden, gleichzeitig aber so groß, dass sie zuverlässig von der Bildaufnahmevorrichtung erkannt werden können. Weiter auseinanderliegende Punkte **18** erhöhen die Genauigkeit.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- DE 102005034683 A1 [0003]
- EP 2561821 A1 [0007]
- US 2006/0149147 A1 [0007]
- US 2009/0088773 A1 [0007]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Registrierung von Robotersystemen (12) an bildgebenden Systemen (1), insbesondere Computertomographiesystemen, wobei das bildgebende System (1) eine Bildaufnahmevorrichtung (6) und eine Patientenaufnahme (8) umfasst, wobei dem bildgebenden System (1) ein Koordinatensystem (CT-KOS) zugeordnet wird, welches im Wesentlichen durch die Orientierung der Bildaufnahmevorrichtung (6) im Raum definiert wird, und wobei das Robotersystem (12) zumindest während einer Aktion an einem auf der Patientenaufnahme (8) positionierten Patienten (P) an einem Ende (13) ortfest positioniert ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bildaufnahmevorrichtung (6) des bildgebenden Systems (1) verwendet wird, um die Lage des Robotersystems (12) im Raum bezüglich des Koordinatensystems (CT-KOS) des bildgebenden Systems (1) zu definieren.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Definition der Lage des Robotersystems (12) im Koordinatensystem (CT-KOS) des bildgebenden Systems (1) zumindest ein Marker (17) verwendet wird, welcher durch die Bildaufnahmevorrichtung (6) detektiert werden kann.

3. Verfahren gemäß Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Marker (17) verwendet wird, der die Lage im Raum eindeutig wiedergibt

4. Verfahren gemäß Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Marker (17) zumindest an drei verschiedenen Positionen in den Aufnahmen der Bildaufnahmevorrichtung (6) aufgenommen wird.

5. Verfahren gemäß Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit dem Marker (17) nur eine Aufnahme mittels der Bildaufnahmevorrichtung (6) durchgeführt wird.

6. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch das Verfahren mehrere Robotersysteme (12) registriert werden können.

7. Bildgebendes System (1), insbesondere Computertomographiesystem, umfassend zumindest ein Robotersystem (12), wobei das bildgebende System (1) eine Bildaufnahmevorrichtung (6) und eine Patientenaufnahme (8) umfasst, wobei das bildgebende System (1) durch seine Orientierung im Raum ein Koordinatensystem (CT-KOS) definiert, und wobei das zumindest eine Robotersystem (12) zumindest während einer Aktion an einem auf der Patientenaufnahme (8) positionierten Patienten (P) an einem Ende (13) ortfest positioniert ist, **dadurch gekennzeichnet**,

dass an dem nicht ortsfesten Ende (16) des zumindest einen Robotersystems (12) ein Marker (17) befestigt ist,

dass der Marker (17) durch die Bildaufnahmevorrichtung (6) detektierbar ist, und d

ass das bildgebende System (1) derart ausgebildet ist, dass durch die Aufnahme des Markers (17) durch die Bildaufnahmevorrichtung (6) die Position des Robotersystems (12) bezüglich des Koordinatensystems (CT-KOS) des bildgebenden Systems (1) definierbar ist.

8. Bildgebendes System gemäß Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das bildgebende System (1) mehrere Robotersysteme (12) aufweist, wobei jedes Robotersystem (12) einen eigenen, durch die Bildaufnahmevorrichtung (6) unterscheidbaren Marker (17) aufweist und wobei jeweils die Position jedes Robotersystems (12) bezüglich des Koordinatensystems (CT-KOS) des bildgebenden Systems (1) durch die Aufnahme des jeweiligen Markers (17) durch die Bildaufnahmevorrichtung (6) definierbar ist.

9. Bildgebendes System gemäß einem der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der oder die Marker (17) ihre Lage im Raum eindeutig wiedergeben, so dass die Position des oder jedes Robotersystems (12) bezüglich des Koordinatensystems (CT-KOS) des bildgebenden Systems (1) durch eine einzige Aufnahme durch die Bildaufnahmevorrichtung (6) definierbar ist.

10. Bildgebendes System gemäß einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das bildgebende System (1) derart ausgebildet ist, dass mikrochirurgische, minimalinvasive Interventionen ausführbar sind.

11. Robotersystem (12) für ein bildgebendes System (1), insbesondere Computertomographiesystem, gemäß eines der Ansprüche 7 bis 10, wobei ein Ende (13) des Robotersystems (12) zumindest während einer Aktion an einem auf der Patientenaufnahme (8) positionierten Patienten (P) ortfest positioniert ist, da

du

rch gekennzeichnet,

dass an dem nicht ortsfesten Ende (16) des Robotersystems (12) ein Marker (17) befestigt ist,

dass der Marker (17) durch die Bildaufnahmevorrichtung (6) detektierbar ist, und

dass durch die Aufnahme des Markers (17) durch die Bildaufnahmevorrichtung (6) des bildgebenden Systems (1) die Position des Robotersystems (12) bezüglich des Koordinatensystems (CT-KOS) des bildgebenden Systems (1) definierbar ist.

12. Robotersystem, gemäß Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Marker (17) seine Lage im Raum eindeutig wiedergibt, so dass die Position des Robotersystems (12) bezüglich des Koordinatensys-

tems (CT-KOS) des bildgebenden Systems (1) durch eine einzige Aufnahme durch die Bildaufnahmevorrichtung (6) definierbar ist.

13. Robotersystem gemäß Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Robotersystem (12) derart ausgebildet ist, dass mikrochirurgische, minimalinvasive Interventionen ausführbar sind.

14. Marker (17) zur Verwendung mit einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, einem bildgebenden System gemäß einem der Ansprüche 7 bis 10 oder einem Robotersystem gemäß einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Marker (17) bei einer Aufnahme mit der Bildaufnahmevorrichtung (6) des bildgebenden Systems (1) detektierbar ist, und dass der Marker (17) drei durch die Bildaufnahmevorrichtung (6) gut detektierbare Punkte (18) aufweist.

15. Marker gemäß Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die durch die Bildaufnahmevorrichtung (6) gut detektierbaren Punkte (18) zwei Vektoren aufgespannt werden, welche zueinander orthogonal sind.

16. Marker gemäß Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Marker (17) aus einem Material gefertigt ist, das bei der Aufnahme durch die Bildaufnahmevorrichtung (6) keine Bildartefakte in der Aufnahme verursacht, und dass sich das Signal des Markers (17) in der Aufnahme von dem zu erwartenden Signal des Patienten (P) unterscheidet.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

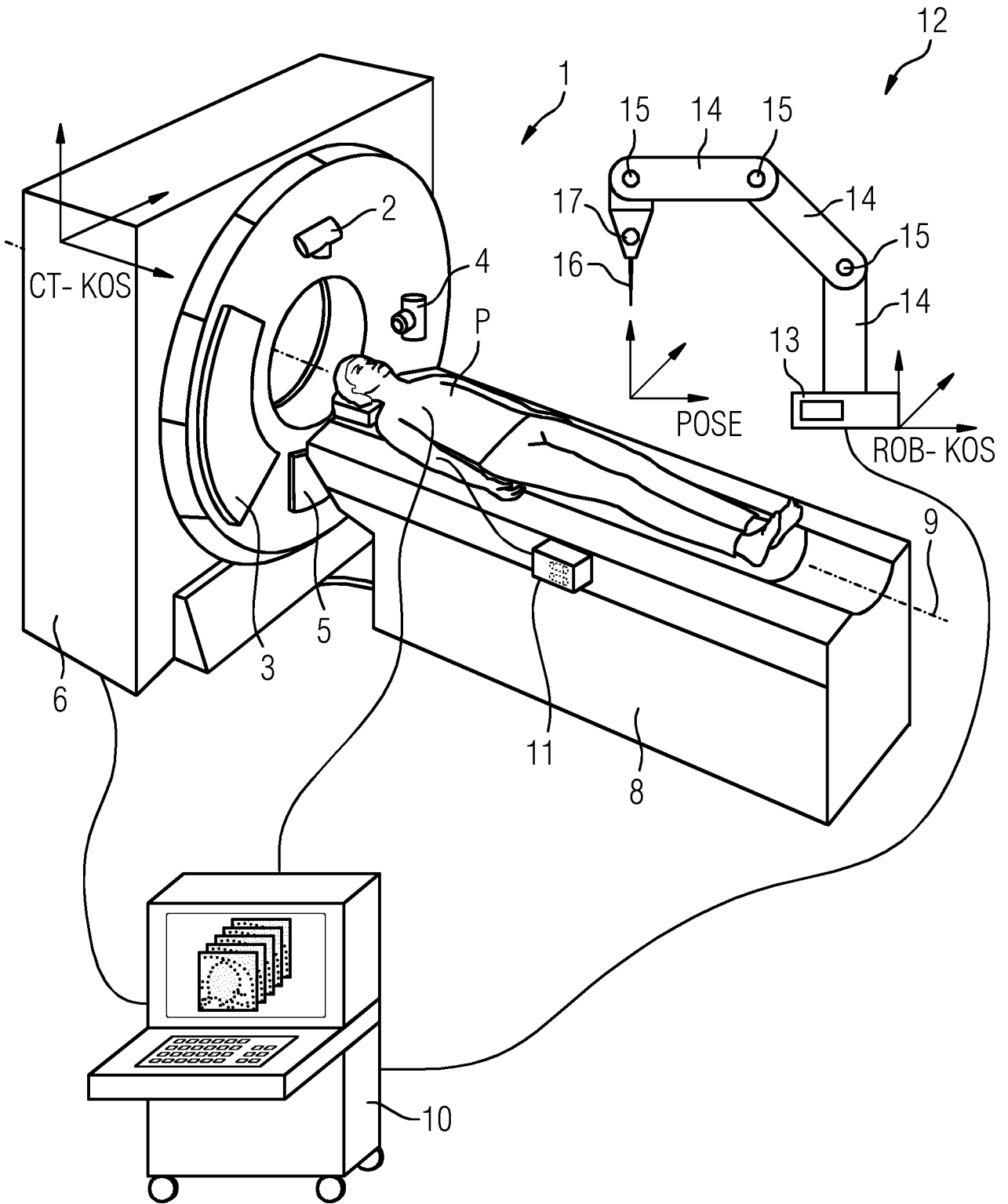


FIG 2

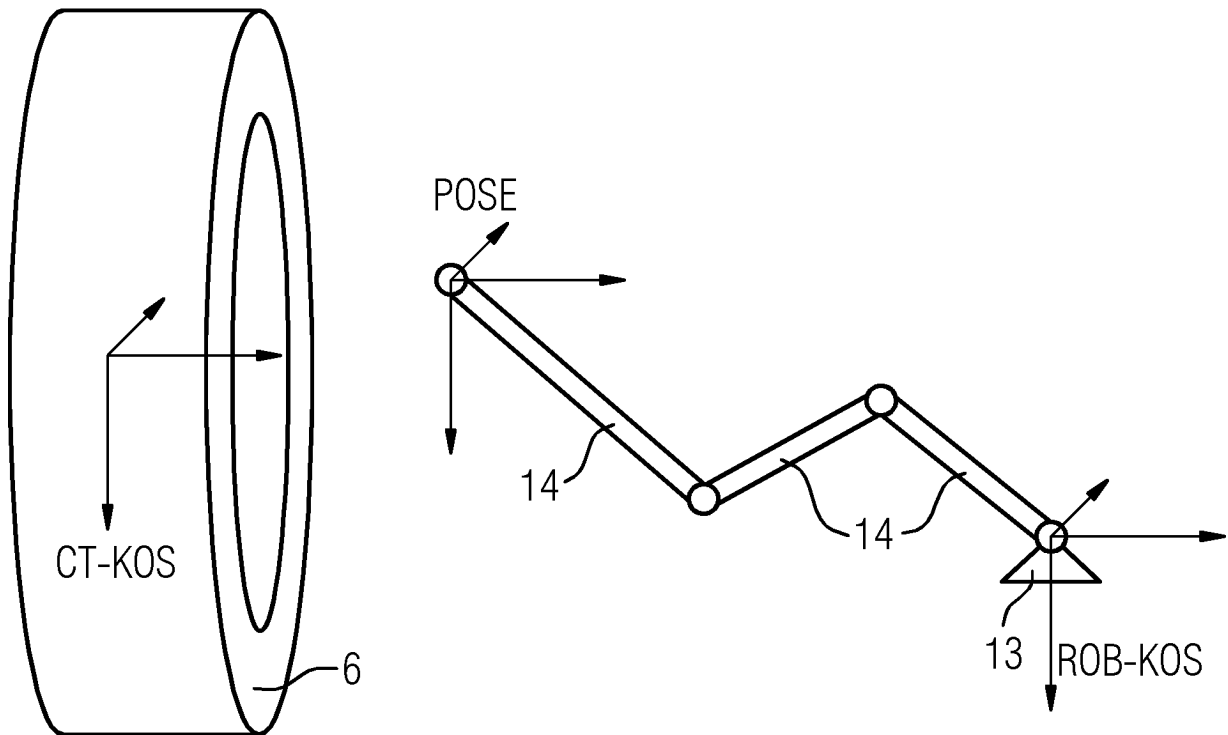


FIG 3

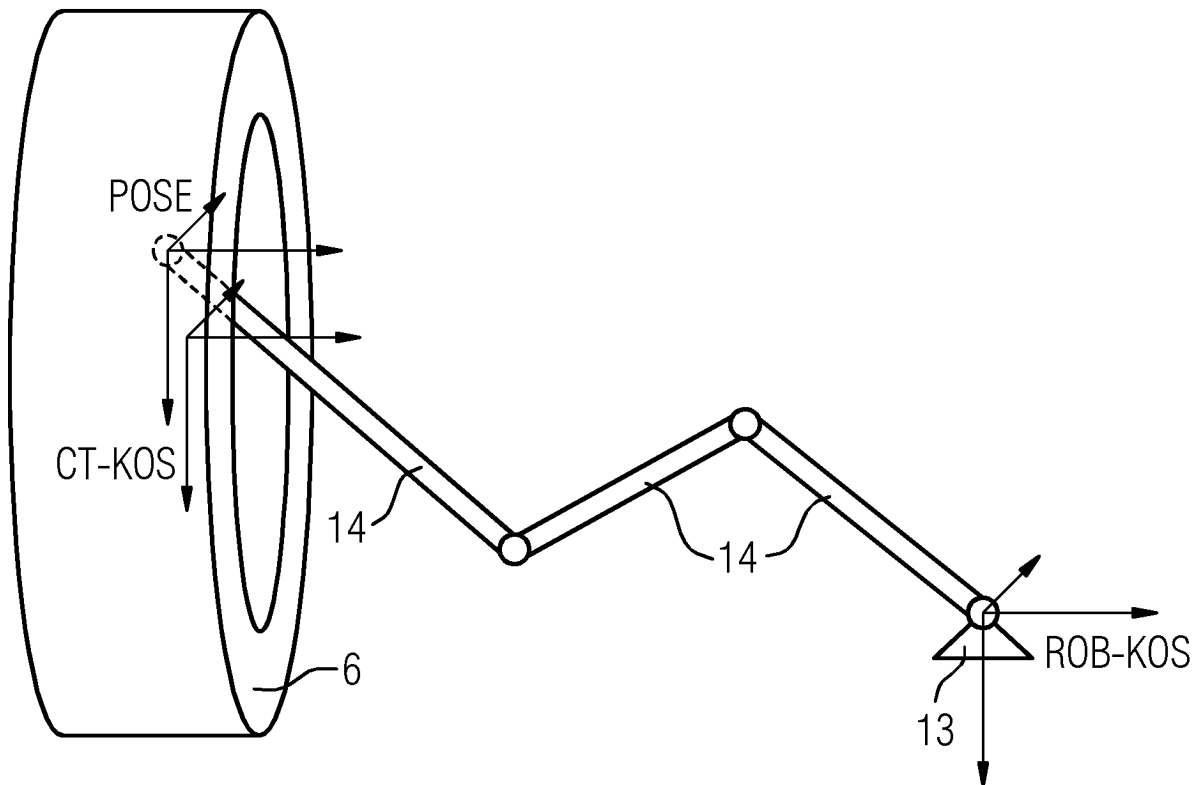


FIG 4

