



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 101 37 914 B4 2006.05.04**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **101 37 914.5**
 (22) Anmeldetag: **02.08.2001**
 (43) Offenlegungstag: **16.05.2002**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **04.05.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01B 21/04 (2006.01)**
G06T 3/00 (2006.01)
G01N 23/00 (2006.01)
G01C 21/00 (2006.01)
A61B 6/03 (2006.01)
A61B 19/00 (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. 2 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität:
100 42 963.7 31.08.2000

(73) Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

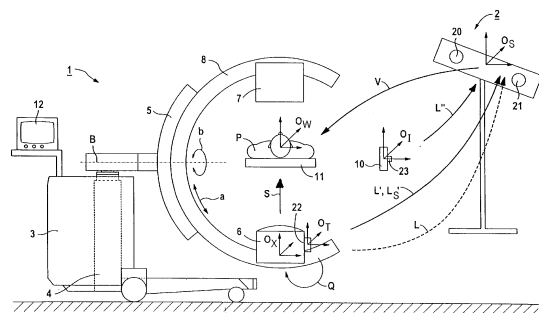
(72) Erfinder:
Graumann, Rainer, Dr., 91315 Höchstadt, DE;
Mitschke, Matthias, 90419 Nürnberg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 196 32 273 A1
DE 195 36 180 A1
DE 43 06 037 A1
DE 695 03 814 T2
US 58 22 396 A
M. Mitschke und N. Navab Recovering Projection
Geometry: "How a cheap camera can outperform an
expensive stereo system", IEEE Computer Society
Conference on Computer Vision and Pattern
Recog-
nition, 13-15 June 2000, Volume 1, S. 193 bis 200;

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Ermittlung einer Koordinatentransformation für die Navigation eines Objekts**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Ermittlung einer Koordinatentransformation zwischen einem Koordinatensystem (O_W) eines ersten mit einem Röntgengerät (1) abzubildenden Objektes (P) und einem Koordinatensystem (O_i) eines zweiten relativ zu dem ersten Objekt (P) zu navigierenden Objektes (10), wobei ein Positionserfassungssystem (2) zur Ermittlung der Positionen des Röntgengerätes (1) und des zweiten Objektes (10) vorhanden ist, aufweisend folgende Verfahrensschritte:

a) Ermittlung von Transformationsbeziehungen L, V und S zwischen Koordinatensystemen des Positionserfassungssystems (2), des Röntgengerätes (1) und des ersten Objektes (P) in einem Kalibriervorgang vor der Gewinnung von Bildinformationen von dem ersten Objekt (P) mit dem Röntgengerät (1), wobei L die Koordinatentransformation zwischen einem Koordinatensystem (O_T) einer an dem Röntgengerät (1) angeordneten, mit dem Positionserfassungssystem (2) zusammenwirkenden Markierung (22) und einem Koordinatensystem (O_S) des Positionserfassungssystems (2), V die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem (O_S) des Positionserfassungssystems (2) und dem Koordinatensystem (O_W) des ersten Objektes (P) und S die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem (O_T) der Markierung...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung einer Koordinatentransformation zwischen einem Koordinatensystem eines ersten mit einem Röntgengerät abzubildenden Objektes und einem Koordinatensystem eines zweiten relativ zu dem ersten Objekt zu navigierenden Objektes.

[0002] Unter der Navigation des zweiten Objektes relativ zu dem ersten Objekt versteht man im Allgemeinen die mittels optischer Bildinformationen unterstützte Führung des zweiten Objektes relativ zu dem ersten Objekt, wobei ein Abbild des zweiten Objektes in mit dem Röntgengerät gewonnene Bildinformationen von dem ersten Objekt eingeblendet wird.

[0003] Ein derartiges Vorgehen erlangt insbesondere im Bereich der Medizin zunehmend an Bedeutung, wobei bei navigationsgeführten Eingriffen in der Regel eine Einblendung eines Abbildes eines medizinischen Instrumentes in von einem Lebewesen aufgenommene Bildinformationen erfolgt. Auf diese Weise kann ein Operateur ein in das Lebewesen zumindest teilweise eingedrungenes Instrument, dessen Spitze beispielsweise durch das Eindringen in Körpergewebe nicht mehr direkt sichtbar ist, anhand der Bildinformationen relativ zu dem zu untersuchenden bzw. zu behandelnden Gewebereich des Lebewesens führen ohne Gefahr zu Laufen dem Lebewesen unbeabsichtigt Schaden zu zufügen.

[0004] Um einen derartigen navigationsgeführten Eingriff zu ermöglichen, d. h. ein Abbild des Instrumentes in Bildinformationen von einem Lebewesen positions- und lagegenau einblenden zu können, ist es erforderlich, eine mathematische Beziehung in Form einer Koordinatentransformation zwischen einem dem Lebewesen einbeschriebenen Koordinatensystem und einem Koordinatensystem des zu navigierenden Instrumentes herzustellen. Hierzu werden bisweilen an dem Lebewesen künstliche Marken angeordnet oder anatomische Marken, z.B. markante Knochenstrukturen, festgelegt. Die anatomischen oder künstlichen Marken müssen dabei in den mit dem Röntgengerät aufgenommenen Bildinformationen von dem Lebewesen deutlich sichtbar und an dem Lebewesen gut erreichbar sein. Die künstlichen Marken sind z.B. an der Hautoberfläche des Lebewesens befestigt, um eine sogenannte Registrierung vornehmen zu können, worunter die Ermittlung der räumlichen Transformationsvorschrift der in dem Koordinatensystem des zu navigierenden Instrumentes angegebenen Koordinaten in die räumlichen Koordinaten des für die Navigation verwendeten Koordinatensystems des Lebewesens verstanden wird. Die Marken müssen dabei in der Regel einzeln mit dem Instrument angefahren werden, um die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem des Lebewesens und dem Koordinatensystem des

Instrumentes ermitteln zu können. Bei sehr präzisen medizinischen Eingriffen werden die Marken auch rigide am Körper des Lebewesens befestigt. Als Beispiele seien die Anbringung eines stereotaktische Rahmens am Kopf eines Patienten oder die Anbringung von Marken in Knochen oder an der Wirbelsäulen eines Patienten genannt. Die Anbringung der Marken erfolgt teilweise in einer separaten Operation, da die Marken bereits vor einer präoperativen Bildgebung, welche häufig zur Navigation verwendet wird, angebracht werden müssen.

[0005] Die Anbringung und Registrierung der Marken ist demnach eine relativ unangenehme Prozedur für einen Patienten und zudem relativ zeitaufwendig für einen Operateur in der Vorbereitung eines navigationsgeführten Eingriffs.

Stand der Technik

[0006] Aus der DE 695 03 814 T2 sind ein Gerät und ein Verfahren für die computergestützte Chirurgie bekannt. Dabei wird ein bestimmtes Lichtmuster auf eine Körperstelle eines Patienten projiziert, von der zuvor 3D-Bilder erzeugt und gespeichert wurden. Das Lichtmuster wird mit Videokameras aufgenommen und es werden 3D-Bilder von dem Lichtmuster erzeugt. Die 3D-Bilder von dem sich auf der Körperoberfläche abzeichnenden Lichtmuster werden mit den gespeicherten 3D-Bildern überlagert, so dass diese einen gemeinsamen Bezugsrahmen bilden. Außerdem nehmen die Kameras ein mit einem Muster versehenes Zeigermittel auf, welches in die überlagerten 3D-Bilder für die Navigation eingeblendet wird.

[0007] In der DE 196 32 273 A1 sind Verfahren zur Bestimmung der Geometriegrößen eines bewegungsfähigen Körpers beschrieben.

[0008] In der DE 195 36 180 A1 wird zur Lokalisierung eines Instrumentes relativ zu dreidimensionalen Körperdaten eines Patienten vorgeschlagen, eine interne Markereinrichtung zur Festlegung eines körperinternen, räumlichen Bezugssystems fest mit dem Körper zu verbinden. In einer Analyse-Abtastung des Körpers werden die Positionen der bei der Analyse-Abtastung gewonnen dreidimensionalen Körperdaten in dem durch die Markereinrichtung festgelegten körperinternen Bezugssystem bestimmt. Es wird die Lage und Orientierung des durch die interne Markereinrichtung festgelegten körperinternen Bezugssystems relativ zu einem durch eine externe Markereinrichtung festgelegten körperexternen Bezugssystem bestimmt. Bezüglich der externen Markereinrichtung wird die Lage und Orientierung eines zu navigierenden Instrumentes bestimmt, wodurch eine Beziehung zu der internen Markereinrichtung und somit den dreidimensionalen Körperdaten hergestellt werden kann.

[0009] Aus der DE 43 06 037 A1 sind ein Gerät und Verfahren zum Verknüpfen eines aus einem Elektrokardiogramm lokalisierten Zentrums intrakardialer Aktivität mit einem Ultraschallschnittbild bekannt. Dabei werden mit Hilfe eines Positionserfassungssystems ein Ort intrakardialer Aktivität aus dem Elektrokardiogramm bestimmt und der Ort in einem Ultraschallschnittbild markiert.

Aufgabenstellung

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Ermittlung einer Koordinatentransformation zwischen einem Koordinatensystem eines ersten mit einem Röntgengerät abzubildenden Objektes und einem Koordinatensystem eines zweiten relativ zu dem ersten Objekt zu navigierenden Objektes derart anzugeben, dass keine Marken behaftete Registrierung erforderlich ist, um eine Beziehung zwischen dem Koordinatensystem des ersten Objektes und dem Koordinatensystem des zweiten Objektes anzugeben.

[0011] Nach der Erfindung wird diese Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Ermittlung einer Koordinatentransformation zwischen einem Koordinatensystem eines ersten mit einem Röntgengerät abzubildenden Objektes und einem Koordinatensystem eines zweiten relativ zu dem ersten Objekt zu navigierenden Objektes, wobei ein Positionserfassungssystem zur Ermittlung der Positionen des Röntgengerätes und des zweiten Objektes vorhanden ist, aufweisend folgende Verfahrensschritte:

- a) Ermittlung von Transformationsbeziehungen L , V und S zwischen Koordinatensystemen des Positionserfassungssystems, des Röntgengerätes und des ersten Objektes in einem Kalibriervorgang vor der Gewinnung von Bildinformationen von dem ersten Objekt mit dem Röntgengerät, wobei L die Koordinatentransformation zwischen einem Koordinatensystem einer an dem Röntgengerät angeordneten, mit dem Positionserfassungssystem zusammenwirkenden Markierung und dem Koordinatensystem des Positionserfassungssystems, V die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem des Positionserfassungssystems und dem Koordinatensystem des ersten Objektes und S die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem der Markierung für eine Referenzstellung des Röntgengerätes relativ zu dem ersten Objekt und dem Koordinatensystem des ersten Objektes ist,
- b) Ermittlung der während der Gewinnung von Bildinformationen von dem ersten Objekt mit dem Röntgengerät gegenüber der Kalibrierung veränderten Koordinatentransformation L' zwischen dem Koordinatensystem der Markierung und dem Koordinatensystem des Positionserfassungssystems, welche aus einer veränderten Position des Röntgengerätes und des Positionserfassungssystems

relativ zueinander resultiert, oder Ermittlung der während der Gewinnung von Bildinformationen von dem ersten Objekt mit dem Röntgengerät gegenüber der Kalibrierung veränderten Koordinatentransformation L_S' zwischen dem Koordinatensystem der Markierung und dem Koordinatensystem des Positionserfassungssystems für die Referenzstellung des Röntgengerätes relativ zu dem ersten Objekt,

c) Ermittlung der Koordinatentransformation L'' zwischen dem Koordinatensystem des zweiten Objektes und dem Koordinatensystem des Positionserfassungssystems und

d) Ermittlung der Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem des zweiten Objektes und dem Koordinatensystem des ersten Objektes anhand der in den Schritten a) bis c) ermittelten Koordinatentransformationen V , L , L' , L_S' , L'' und S .

[0012] Erfindungsgemäß kann allein durch die Ermittlung von Koordinatentransformationen zwischen den an der Bildgebung beteiligten Gerätschaften und Objekten, ohne eine Registrierung mit Marken vornehmen zu müssen, eine Transformationsbeziehung zwischen dem Koordinatensystem eines ersten Objektes und dem Koordinatensystem eines zweiten Objektes zur Navigation des zweiten Objektes relativ zu dem ersten Objekt hergeleitet werden.

[0013] Gemäß einer Variante der Erfindung ist es vorgesehen, ein Abbild des zweiten Objektes in ein mit einem C-Bogen-Röntgengerät gewonnenes 3D-Bild von dem ersten Objekt zu Navigationszwecken einzublenden. Verschiedene 3D-Bilder können dabei aus einer Serie von 2D-Projektionen, welche bei unterschiedlichen Projektionswinkeln des Röntgensystems des C-Bogen-Röntgengerätes relativ zu dem ersten Objekt aufgenommen werden, gewonnen werden. Dabei ist die Kenntnis der Projektionsgeometrien ausgedrückt in sogenannten Projektionsmatrizen erforderlich, welche in einem einmaligen Kalibriervorgang mit Hilfe eines Röntgenkalibrierphantoms für das jeweilige Röntgengerät vor Patientenummessungen gewonnen werden. Während dieses Kalibriervorganges werden die vorstehend erwähnten Koordinatentransformationen L , V und S ermittelt. Die Ermittlung der Projektionsmatrizen sowie die Ermittlung der Koordinatentransformationen L , V und S ist ausführlich in dem Artikel von M. Mitschke und N. Navab, „Recovering Projection Geometry: How a cheap camera can outperform an expensive stereo system“, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 13–15 June 2000, Hilton Head Island, South Carolina, Volume 1, S. 193–200 beschrieben, dessen Inhalt ausdrücklich Bestandteil der vorliegenden Offenbarung sein soll.

[0014] Anhand der in dem Kalibriervorgang ermittel-

ten Koordinatentransformationen L , V und S kann schließlich unter Verwendung der während der Gewinnung von Bildinformationen von dem ersten Objekt mit Hilfe des Positionserfassungssystems ermittelten Koordinatentransformationen L' , L'_S und L'' die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem des zweiten Objektes und dem Koordinatensystem des ersten Objektes bestimmt werden.

[0015] Eine Ausführungsform der Erfindung sieht vor, eine Koordinatentransformation M aus den Koordinatentransformationen L und L' nach $M = L'L^{-1}$ zu ermitteln, welche die Änderung der Transformationsbeziehung zwischen dem Koordinatensystem der an dem Röntgengerät angeordneten Markierung und dem Koordinatensystem des Positionserfassungssystems angibt. Diese Änderung resultiert daraus, dass sich das Positionserfassungssystem und das Röntgengerät bei einem navigationsgeführten Eingriff in der Regel in einer anderen Position und Orientierung relativ zueinander als bei der Kalibrierung befinden. Nach einer Variante der Erfindung lässt sich demnach die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem des zweiten Objektes und dem Koordinatensystem des ersten Objektes durch die Beziehung $V M L''$ ausdrücken.

[0016] Nach einer anderen Ausführungsform der Erfindung lässt sich die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem des zweiten Objektes und dem Koordinatensystem des ersten Objektes durch die Beziehung $S L'_S{}^{-1} L''$ ausdrücken, wobei die Koordinatentransformation L'_S für die Referenzstellung des Röntgengerätes relativ zu dem ersten Objekt während der Gewinnung von Röntgenaufnahmen von dem ersten Objekt mit Hilfe des Positionserfassungssystems ermittelt wird.

Ausführungsbeispiel

[0017] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der beigefügten schematischen Zeichnung dargestellt, welche exemplarisch die Transformationsbeziehungen zwischen den einzelnen Koordinatensystemen eines Röntgengerätes, eines Positionserfassungssystems sowie eines ersten und zweiten Objektes veranschaulicht.

[0018] Die Figur zeigt ein C-Bogen-Röntgengerät **1** und ein Positionserfassungssystem **2**.

[0019] Das C-Bogen-Röntgengerät **1** weist einen Gerätewagen **3** mit einer Hubvorrichtung **4** auf, mit welcher ein Lagerteil **5** verbunden ist. An dem Lagerteil **5** ist ein mit einer Röntgenstrahlenquelle **6** und einem Röntgenstrahlenempfänger **7** versehener, im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels isozentrisch, längs seines Umfanges verstellbarer C-Bogen **8** gelagert (vgl. Doppelpfeil a). Der C-Bogen **8** ist außerdem zusammen mit dem Lagerteil **5** um seine An-

gulationsachse B im Falle des vorliegenden Beispiels in die Richtungen des Doppelpfeils b isozentrisch verschwenkbar.

[0020] Mit dem C-Bogen-Röntgengerät **1** können 2D- und 3D-Bilder von einem in der Figur schematisch dargestellten, auf einer Patientenliege **11** gelagerten Patienten P gewonnen und auf einer Anzeigeeinrichtung **12** dargestellt werden. Die hierzu benötigten Einrichtungen, insbesondere ein Bildrechner, sind in an sich bekannter Weise ausgeführt und daher in der Figur nicht dargestellt und nicht explizit beschrieben.

[0021] Bei dem Positionserfassungssystem **2** des vorliegenden Ausführungsbeispiels handelt es sich um ein optisches Positionserfassungssystem, welches ein zwei Kameras **20**, **21** umfassendes Kamerasystem, eine im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels an der Röntgenstrahlenquelle **6** angeordnete Markerplatte **22** und einen an einem medizinischen Instrument **10** angeordneten Marker **23** aufweist. Mit dem Positionserfassungssystem **2** können die Positionen und Orientierungen der Markerplatte **22** und somit des die Röntgenstrahlenquelle **6** und den Röntgenstrahlenempfänger **7** umfassenden Röntgensystems und die Positionen und Orientierungen des Markers **23** und somit des Instrumentes **10** bestimmt werden.

[0022] Die für die Positionsbestimmung erforderlichen Rechenmittel des Positionserfassungssystems, z.B. ein handelsüblicher Rechner, sind in an sich bekannter Weise ausgeführt und daher ebenfalls in der Figur nicht dargestellt und nicht explizit beschrieben.

[0023] Mit Hilfe des Positionserfassungssystems **2** wird ein navigationsgeführter Eingriff an dem Patienten P ermöglicht, bei dem ein in der Figur nicht dargestellter Operateur das Instrument **10** anhand von beispielsweise auf der Anzeigeeinrichtung **12** dargestellten Bildinformationen von dem Patienten P , in die ein Abbild des Instrumentes **10** eingeblendet ist, relativ zu dem Patienten P führt. Die Bildinformationen von dem Patienten P werden für den navigationsgeführten Eingriff im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels intra-operativ, also während eines medizinischen Eingriffes an dem Patienten P , mit dem C-Bogen-Röntgengerät **1** gewonnen.

[0024] Um einen navigationsgeführten Eingriff durchführen zu können, ist allerdings die Kenntnis der Koordinatentransformation zwischen einem dem Patienten P einbeschriebenen Koordinatensystem O_w und einem dem Instrument **10** einbeschriebenen Koordinatensystem O_i erforderlich, deren erfindungsgemäße Ermittlung im Folgenden beschrieben ist.

[0025] Dem Röntgensystem bzw. der Röntgenstrahlenquelle **6** ist das Koordinatensystem O_x , dem

Kamerasystem des Positionserfassungssystems **2** ist das Koordinatensystem O_S und der an der Röntgenstrahlenquelle **6** angeordneten Markerplatte **22** ist das Koordinatensystem O_T einbeschrieben. Die Koordinatensysteme sind in der Figur alle als kartesische Koordinatensysteme dargestellt, was jedoch nicht zwingend der Fall sein muss. Des weiteren ist die Wahl der Lage und Orientierung der Koordinatensysteme sowie deren Bezeichnung nur exemplarisch zu verstehen.

[0026] Da die Navigation vorzugsweise anhand von intra-operativ mit dem C-Bogen-Röntgengerät **1** gewonnenen 3D-Bildinformationen von dem Patienten P erfolgen soll, werden zunächst in einem in der Regel einmaligen Offline-Kalibriervorgang, d.h. vor einer Patientenmessung, die Projektionsgeometrien des C-Bogen-Röntgengerätes **1** in Form von sogenannten Projektionsmatrizen mit Hilfe eines Röntgenkalibrierphantoms ermittelt. Ein hierfür geeignetes Röntgenkalibrierphantom ist beispielsweise in der US 5,822,396 beschrieben.

[0027] Mit Hilfe der in dem Offline-Kalibriervorgang gewonnenen Projektionsgeometrien können aus einer Serie von mit dem C-Bogen-Röntgengerät **1** gewonnenen 2D-Projektionen 3D-Bilder von einem Objekt, im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels von dem Patienten P, erzeugt werden. Im Zuge der Ermittlung der Projektionsgeometrien werden in dem Offline-Kalibriervorgang auch die Koordinatentransformationen L, Q, V und S ermittelt, wobei L die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem O_T der an der Röntgenstrahlenquelle **6** angeordneten, zu dem Positionserfassungssystem **2** gehörigen Markerplatte **22** und dem Koordinatensystem O_S des Kamerasystems des Positionserfassungssystems **2**, Q die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem O_T der Markerplatte **22** und dem Koordinatensystem O_X des Röntgensystems, V die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem O_S des Positionserfassungssystems **2** und dem Koordinatensystem O_W des Patienten P bzw. während der Kalibrierung des Röntgenkalibrierphantoms und S die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem O_T der Markerplatte **22** für eine Referenzstellung des C-Bogens **8** relativ zu dem Kalibrierphantom und dem Koordinatensystem O_W des Patienten P bzw. während der Kalibrierung des Röntgenkalibrierphantoms ist. Die Referenzstellung des C-Bogens **8** besteht beispielsweise in der Stellung, bei der eine erste 2D-Projektion einer Serie von 2D-Projektionen zur Gewinnung eines 3D-Bildes von dem Kalibrierphantom bzw. von dem Patienten P aufgenommen wird. Die Koordinatentransformation L ist in der Figur mit gestrichelten Linien dargestellt, da sich diese Koordinatentransformation in der Regel bei der in der Figur dargestellten Situation der Patientenmessung gegenüber der Situation bei der Offline-Kalibrierung verändert. Die Verän-

derung basiert auf einer veränderten Position und Orientierung des C-Bogen-Röntgengerätes **1** und somit der Markerplatte **22** und des Kamerasystems des Positionserfassungssystems **2** relativ zueinander gegenüber der Offline-Kalibrierung.

[0028] Aus der Offline-Kalibrierung sind also die Projektionsmatrizen für die 3D-Bildgebung als auch die Koordinatentransformationen L, Q, V und S bekannt, deren Ermittlung ausführlich in dem Artikel von M. Mitschke und N. Navab, „Recovering Projection Geometry: How a cheap camera can outperform an expensive stereo System“, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 13–15 June 2000, Hilton Head Island, South Carolina, Volume 1, S. 193–200 ausführlich beschrieben ist, dessen Inhalt Bestandteil der vorliegenden Offenbarung sein soll. Die Ermittlung der Projektionsgeometrien sowie der Koordinatentransformationen erfolgt im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels mit Hilfe des Bildrechners des C-Bogen-Röntgengerätes **1** und mit Hilfe des Rechners des Positionserfassungssystems **2**, welche zusammenwirken. Die Projektionsmatrizen sowie die Koordinatentransformationen L, Q, V und S werden in einem in der Figur nicht dargestellten Speicher des C-Bogen-Röntgengerätes **1** für die Rekonstruktion von 3D-Bildern von einem Objekt und zum Zwecke der Navigation bereit gehalten.

[0029] Während einer Patientenmessung, also während der Gewinnung von 3D-Bildern, von dem Patienten P mit dem C-Bogen-Röntgengerät **1**, bei der der C-Bogen **8** und das Kamerasystem eine gegenüber der Offline-Kalibrierung verschiedene Stellung relativ zueinander einnehmen, wird eine Serie von 2D-Projektionen von dem Patienten P aus unterschiedlichen Projektionsrichtungen aufgenommen. Mit Hilfe des Positionserfassungssystems **2** werden dabei die Positionen des C-Bogens **8** bestimmt, woraus die aus der veränderten Stellung des C-Bogens **8** und des Kamerasystems relativ zueinander resultierende Koordinatentransformation L' abgeleitet wird. Aus der ursprünglichen Koordinatentransformation L und der während der Patientenmessung ermittelten Koordinatentransformation L' kann schließlich die Veränderung der Position und der Orientierung der Markerplatte **22** während der Patientenmessung im Vergleich zur Offline-Kalibrierung durch die weitere Koordinatentransformation M beschrieben werden. Die Koordinatentransformation M ergibt sich aus der Beziehung $M L = L'$ zu $M = L'L^{-1}$.

[0030] Während des navigationsgeführten Eingriffes ist nun die Transformationsbeziehung zwischen dem Koordinatensystem O_S des Kamerasystems des Positionserfassungssystems **2** und dem Koordinatensystem O_W des Patienten P bekannt. Die Position und Orientierung des Instrumentes **10** kann mit Hilfe des Markers **23** und des Kamerasystems des Positi-

Positionserfassungssystem **2** ermittelt werden, wobei die Koordinatentransformation von dem Koordinatensystem O_I des zu navigierenden medizinischen Instrumentes **10** zu dem Koordinatensystem O_S des Kamerasystems des Positionserfassungssystems **2** mit L'' bezeichnet wird. Demnach kann die Position und Orientierung des durch das Positionserfassungssystem **2** verfolgten medizinischen Instrumentes **10** zu einem in einem 3D-Bild veranschaulichten rekonstruierten Volumen des Patienten **P** direkt ermittelt werden. Die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem O_I des Instrumentes und dem Koordinatensystem O_W des Patienten **P** ergibt sich dabei zu $V M L''$. Anhand dieser Koordinatentransformation kann schließlich ein Abbild des Instrumentes **10** positionsgenau in ein auf der Anzeigeeinrichtung **12** dargestelltes rekonstruiertes Volumen des Patienten **P** eingeblendet werden.

[0031] Eine zweite Variante der Ermittlung der Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem O_I des Instrumentes **10** und dem Koordinatensystem O_W des Patienten **P** erhält man unter Verwendung der Koordinatentransformation S . Während der Patientenmessung wird dabei aufgrund der veränderten Stellung des C-Bogens **8** relativ zu dem Kamerasystem des Positionserfassungssystems **2** im Vergleich zur Offline-Kalibrierung, aber bei der gleichen Referenzstellung des C-Bogens **8**, bei der die Koordinatentransformation S ermittelt wurde, die Koordinatentransformation L_S' mit Hilfe des Positionserfassungssystems **2** ermittelt. Auch in diesem Fall ist nun die Beziehung zwischen dem Koordinatensystem O_S des Kamerasystems des Positionserfassungssystems **2** und dem Koordinatensystem O_W des Patienten **P** bekannt, so dass unter Verwendung der Koordinatentransformation L'' ebenfalls die Koordinatentransformation von dem Koordinatensystem O_I des Instrumentes **10** zu dem Koordinatensystem O_W des Patienten **P** erfolgen kann. Die Transformationsvorschrift ergibt sich hierbei zu $S L_S'^{-1} L''$.

[0032] Somit wird deutlich, dass allein durch die Ermittlung der Koordinatentransformationen L , V und S in einem Offline-Kalibriervorgang und durch die Ermittlung der Koordinatentransformationen L' bzw. L_S' und L'' intra-operativ, also während der Patientenmessung, eine Transformationsbeziehung zwischen dem Koordinatensystem O_W des Patienten **P** und dem Koordinatensystem O_I des Instrumentes **10** zur Navigation des Instrumentes **10** relativ zu dem Patienten **P** ermittelt werden kann. Eine Marken behaftete Registrierung ist damit erfindungsgemäß vermieden.

[0033] Bei dem zur Navigation verwendeten Positionserfassungssystem muss es sich im Übrigen nicht notwendigerweise um ein optisches Positionserfassungssystem handeln. Vielmehr sind auch elektromagnetische oder andere bekannte Positionserfas-

zungssysteme einsetzbar.

[0034] Die in der Figur eingetragenen Richtungen der Koordinatentransformationen sind nur exemplarisch zu verstehen. Wesentlich ist die Ermittlung einer Koordinatentransformation zwischen zwei Koordinatensystemen.

[0035] Die Erfindung wurde vorstehend am Beispiel eines medizinischen Verwendungszweckes beschrieben. Die Anwendung der Erfindung ist jedoch nicht auf den Bereich der Medizin beschränkt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung einer Koordinatentransformation zwischen einem Koordinatensystem (O_W) eines ersten mit einem Röntgengerät (**1**) abzubildenden Objektes (**P**) und einem Koordinatensystem (O_I) eines zweiten relativ zu dem ersten Objekt (**P**) zu navigierenden Objektes (**10**), wobei ein Positionserfassungssystem (**2**) zur Ermittlung der Positionen des Röntgengerätes (**1**) und des zweiten Objektes (**10**) vorhanden ist, aufweisend folgende Verfahrensschritte:

- Ermittlung von Transformationsbeziehungen L , V und S zwischen Koordinatensystemen des Positionserfassungssystems (**2**), des Röntgengerätes (**1**) und des ersten Objektes (**P**) in einem Kalibriervorgang vor der Gewinnung von Bildinformationen von dem ersten Objekt (**P**) mit dem Röntgengerät (**1**), wobei L die Koordinatentransformation zwischen einem Koordinatensystem (O_T) einer an dem Röntgengerät (**1**) angeordneten, mit dem Positionserfassungssystem (**2**) zusammenwirkenden Markierung (**22**) und einem Koordinatensystem (O_S) des Positionserfassungssystems (**2**), V die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem (O_S) des Positionserfassungssystems (**2**) und dem Koordinatensystem (O_W) des ersten Objektes (**P**) und S die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem (O_T) der Markierung (**22**) für eine Referenzstellung des Röntgengerätes (**1**) relativ zu dem ersten Objekt (**P**) und dem Koordinatensystem (O_W) des ersten Objektes (**P**) ist,
- Ermittlung der während der Gewinnung von Bildinformationen von dem ersten Objekt (**P**) mit dem Röntgengerät (**1**) gegenüber der Kalibrierung veränderten Koordinatentransformation L' zwischen dem Koordinatensystem (O_T) der Markierung (**22**) und dem Koordinatensystem (O_S) des Positionserfassungssystems (**2**), welche aus einer veränderten Position des Röntgengerätes (**1**) und des Positionserfassungssystems (**2**) relativ zueinander resultiert, oder Ermittlung der während der Gewinnung von Bildinformationen von dem ersten Objekt (**P**) mit dem Röntgengerät (**1**) gegenüber der Kalibrierung veränderten Koordinatentransformation L_S' zwischen dem Koordinatensystem (O_T) der Markierung (**22**) für die Referenzstellung des Röntgengerätes (**1**) relativ zu dem ersten Objekt

(P) und dem Koordinatensystem (O_S) des Positionserfassungssystems (**2**),
c) Ermittlung der Koordinatentransformation L'' zwischen dem Koordinatensystem (O_I) des zweiten Objektes (**10**) und dem Koordinatensystem (O_S) des Positionserfassungssystems (**2**), und
d) Ermittlung der Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem (O_I) des zweiten Objektes und dem Koordinatensystem (O_W) des ersten Objektes (P) anhand der in den Schritten a) bis c) ermittelten Koordinatentransformationen V, L, L', L_S', L'' und S .

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem eine Koordinatentransformation M aus den Koordinatentransformationen L, L' nach $M = L'L^{-1}$ ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem sich die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem (O_I) des zweiten Objektes (**10**) und dem Koordinatensystem (O_W) des ersten Objektes (P) zu $V M L''$ ergibt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem sich die Koordinatentransformation zwischen dem Koordinatensystem (O_I) des zweiten Objektes (**10**) und dem Koordinatensystem (O_W) des ersten Objektes (P) zu $S L_S'^{-1} L''$ ergibt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem das Röntgengerät ein C-Bogen-Röntgengerät (**1**) ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

