



(10) **DE 10 2014 212 913 B4** 2017.12.14

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 212 913.3**
(22) Anmeldetag: **03.07.2014**
(43) Offenlegungstag: **07.01.2016**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **14.12.2017**

(51) Int Cl.: **A61B 34/20** (2016.01)
A61B 6/03 (2006.01)
A61B 5/055 (2006.01)
G01B 11/03 (2006.01)
G01C 11/36 (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(74) Vertreter:
**Pfenning, Meinig & Partner mbB Patentanwälte,
01067 Dresden, DE**

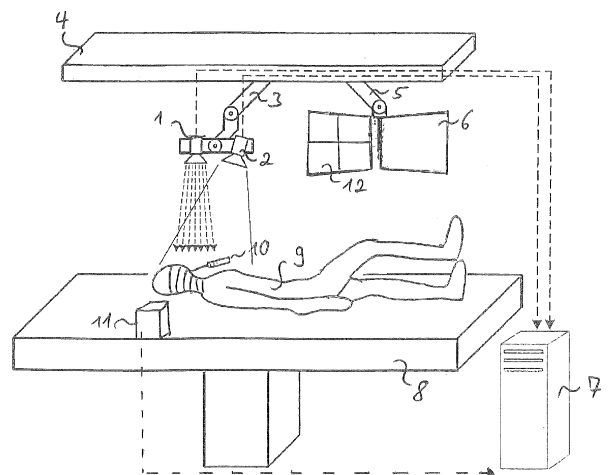
(72) Erfinder:
**Grunert, Ronny, Dr., 01445 Radebeul, DE;
Snyderman, Carl H., Pittsburgh, Pa., US;
Hartmann, Peter, Prof. Dr., 07973 Greiz, DE;
Lempe, Benjamin, 08056 Zwickau, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	5 662 111	A
US	6 006 126	A

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur intraoperativen Navigation**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur intraoperativen Navigation, bei dem eine einzelne Aufnahme eines zu untersuchenden Bereichs eines Körpers (9) sowie gleichzeitig eine einzelne Aufnahme eines chirurgischen Instruments (10) durch ein optisches Navigationskamerasystem (1, 2) mit einer Lichtquelle (1) und einem Detektor (2) mit jeweils dreidimensionalen Informationen gemacht werden und die Aufnahmen zu einer dreidimensionalen Positionsdatendarstellung des zu untersuchenden Bereichs und des chirurgischen Instruments (10) in einem ersten Koordinatensystem verarbeitet werden, wobei die Positionsdatendarstellung durch optische Pulslaufzeitmessung und Lasertriangulation oder optische Pulslaufzeitmessung und strukturierte Beleuchtung erhalten wird, sowie Aufnahmen des zu untersuchenden Bereichs des Körpers (9) mittels eines medizinischen Bildfassungssystems (11) gemacht werden und zu einer dreidimensionalen Bilddatendarstellung des zu untersuchenden Bereichs in einem zweiten Koordinatensystem verarbeitet werden, wobei eine Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem und dem zweiten Koordinatensystem durchgeführt wird, bei der die Positionsdatendarstellung und die Bilddatendarstellung überlagert werden und als kombinierte Darstellung in Echtzeit ausgegeben werden.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur intraoperativen Navigation und ein Computerprogramm.

[0002] In modern ausgestatteten Operationssälen kann ein Chirurg computerassistierte Instrumente nutzen, die die Arbeit erleichtern, den Stress reduzieren und die Patientensicherheit erhöhen. Bei bestimmten Eingriffen werden chirurgische Navigationssysteme am Patienten im Operationssaal verwendet, mit denen eine Positionsbestimmung von chirurgischen Instrumenten in medizinischen Bilddaten (gewonnen z. B. durch Computertomographie, CT, Magnetresonanztomographie, MRT) in Echtzeit möglich ist. Der Chirurg kann damit die Entfernung von der Instrumentenspitze zu den anatomischen Strukturen erkennen. Dies ist insbesondere bei der Vermeidung von Verletzungen an kritischen Strukturen wie Nerven oder arteriellen Blutgefäßen von großer Bedeutung.

[0003] Hierfür werden Marker am Patienten und an den chirurgischen Instrumenten angebracht und durch eine konventionelle Navigationskamera mit infrarotem Licht bestrahlt. An den Markern wird dieses infrarote Licht reflektiert und von einer Kamera registriert. Während einer Operation wird eine Position des chirurgischen Instruments beispielsweise in CT-Bildern auf einem Monitor in Echtzeit angezeigt. Ein Fadenkreuz, das in allen Schnittdarstellungen des CT-Bilds angezeigt wird, visualisiert hierbei die Position des chirurgischen Instruments. Zum Durchführen dieses Verfahrens, d. h. damit das Fadenkreuz der Instrumentenspitze entspricht, ist es nötig, zu Beginn der Operation eine Vereinheitlichung der einzelnen Koordinatensysteme (also z. B. von CT-Datensatz, Patient und chirurgischem Instrument) vorzunehmen. Dieser Prozess wird als Registrierung bezeichnet. Die Registrierung kann über verschiedene Verfahren erfolgen, die aber alle spezifisch für das verwendete Navigationsgerät sind.

[0004] Beispielsweise werden bei einer punktbasierenden Registrierung von einer Software mehrere Punkte in CT-Bildern vorgegeben, von denen die Koordinaten bekannt sind. Diese Punkte befinden sich an markanten anatomischen Landmarken, die nacheinander mit dem chirurgischen Instrument angefahren und berührt werden müssen. Dieses Verfahren ist aber zeitaufwändig, zumal die vorgegebenen Positionen auch nicht immer exakt am Patienten abgegriffen werden können.

[0005] Alternativ kann eine Oberflächenregistrierung mit einem Laser erfolgen, bei dem der Laser manuell die Oberfläche einer anatomischen Region scannt, beispielsweise ein Gesicht. Anschließend erfolgt eine Berechnung eines virtuellen dreidimensionalen Mo-

dells. Dieses dreidimensionale Modell wird mit einem dreidimensionalen Modell eines CT-Datensatzes überlagert. Nachteilig hieran ist, dass der Laser zeitaufwändig manuell über die Körperregion geführt werden muss und die dreidimensionale Kontur nicht mit einer einzelnen Aufnahme erkennt.

[0006] US 5,662,111 A zeigt ein System zur kombinierten Darstellung von durch Kameras erfasste Aufnahmen eines zu untersuchenden Bereiches mit Aufnahmen von medizinischen Bilderfassungssystemen. Dabei werden zwei Kameras, die sich in einem Abstand zueinander befinden und jeweils auf den zu untersuchenden Bereich ausgerichtet sind, zum Erstellen der Aufnahmen und zur Gewinnung dreidimensionaler Informationen genutzt. Die Verwendung von zwei oder mehr Kameras ist jedoch mit einem hohen Platzbedarf und hohen Kosten verbunden. Zudem muss das Sichtfeld beider oder aller Kameras stets freigehalten werden. Bei Verwendung von nur einer Kamera entstehen jedoch lediglich zweidimensionale Aufnahmen. Ergänzend wird auf US 6,006,126 A verwiesen.

[0007] Der vorliegende Erfindung liegt daher Aufgabe zugrunde, ein Verfahren, eine Vorrichtung und ein Computerprogramm zu entwickeln, mit denen die beschriebenen Nachteile vermieden werden können und eine schnelle und zuverlässige dreidimensionale Darstellung eines Patienten und chirurgischen Instruments erhalten wird.

[0008] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1, eine Vorrichtung nach Anspruch 5 und ein Computerprogramm nach Anspruch 8. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

[0009] Ein Verfahren zur intraoperativen Navigation umfasst einen Schritt, bei dem eine einzelne Aufnahme eines zu untersuchenden oder zu behandelnden Bereichs eines Körpers sowie gleichzeitig eine einzelne Aufnahme eines chirurgischen Instruments durch ein optisches Navigationskamerasystem gemacht werden. Beide Aufnahmen weisen dreidimensionale Informationen auf und werden zu einer dreidimensionalen Positionsdatendarstellung des zu untersuchenden Bereichs und des chirurgischen Instruments in einem ersten Koordinatensystem verarbeitet. In einem weiteren Schritt, der zeitlich sowohl vor, als auch während oder nach dem ersten Schritt erfolgen kann, werden Aufnahmen des zu untersuchenden Bereichs des Körpers mittels eines medizinischen Bilderfassungssystems gemacht und zu einer dreidimensionalen Bilddatendarstellung des zu untersuchenden Bereichs in einem zweiten Koordinatensystem verarbeitet. Es wird eine Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem und dem zweiten Koordinatensystem durchge-

führt und die Positionsdatendarstellung und die Bildatendarstellung unter Berücksichtigung der Koordinatentransformation überlagert sowie als kombinierte Darstellung in Echtzeit ausgegeben.

[0010] Dadurch, dass durch eine Aufnahme dreidimensionale Informationen sowohl des zu untersuchenden Bereichs als auch des chirurgischen Instruments erhalten werden, entfällt ein zeitaufwändiger Scan und es müssen auch keine Marker vorgegeben und abgefahren werden. Durch die Koordinatentransformation können die Oberflächeninformationen und die medizinischen Bilder derart kombiniert werden, dass Datensätze des chirurgischen Instruments, des zu untersuchenden Bereichs und des bildgebenden Verfahrens deckungsgleich überlagert werden, so dass ein Chirurg oder eine andere im Operationsaal anwesende Person durch die Ausgabe in Echtzeit eine Position des chirurgischen Instruments am Körper eines Patienten zuverlässig und schnell auf angezeigt bekommt. Durch die dreidimensionale Darstellung aller aufgenommenen Daten ist eine vereinfachte Navigation möglich. Es können aber natürlich aus der durch die Koordinatentransformation erhaltenen dreidimensionalen Darstellung auch Schnittdarstellungen bestimmter Ebenen generiert werden. Der Begriff "Echtzeit" soll hierbei aussagen, dass eine Datenaufnahme und -ausgabe zu einem genau vorgegebenen Zeitpunkt bzw. innerhalb eines bestimmten, vorgegebenen Zeitfensters erfolgt. Insbesondere soll die Datenaufnahme und -ausgabe nahezu simultan erfolgen, also mit einem Zeitversatz von maximal 20 ms–30 ms. Das Verfahren erlaubt eine intraoperative dreidimensionale Navigation in einfacher und schneller Weise.

[0011] Unter einem optischen Navigationskammersystem soll hierbei ein Kamerasystem verstanden werden, das sowohl eine Lichtquelle als auch einen Detektor umfasst und das elektromagnetische Strahlung im sichtbaren Bereich zwischen 400 nm und 780 nm aussenden und in diesem Bereich Bilder aufnehmen kann, aber auch im infraroten Wellenlängenbereich zwischen 780 nm und 1 mm und bzw. oder im ultravioletten Wellenlängenbereich zwischen 200 nm und 400 nm Strahlung aussenden und Bilder aufnehmen kann. Vorzugsweise arbeitet das optische Navigationskammersystem in einem Wellenlängenbereich zwischen 700 nm und 1100 nm, so dass im sichtbaren Wellenlängenbereich des elektromagnetischen Spektrums keine Behinderung eines Operateurs erfolgt. Der Detektor ist typischerweise zur orts aufgelösten Detektion ausgebildet und kann als CCD-Sensor (Charge-Coupled Device-Sensor) oder als CMOS-Sensor (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor-Sensor) ausgeführt sein.

[0012] Die überlagerte kombinierte Darstellung kann sowohl als dreidimensionale Darstellung angezeigt werden, es können aber auch nur einzelne Schnitte

als zweidimensionale Darstellung angezeigt werden. Natürlich kann auch eine Kombination aus einer dreidimensionalen und einer zweidimensionalen Darstellung angezeigt werden, um möglichst viele Informationen bereitzustellen.

[0013] Die Aufnahmen des zu untersuchenden Bereichs des Körpers mittels eines medizinischen Bildfassungssystems bzw. Bildgebungssystems können durch Computertomographie oder Magnetresonanztomographie als bildgebende Verfahren erhalten werden. Diese Verfahren erlauben eine Darstellung eines Körperinneren, die durch das beschriebene Verfahren in einfacher Weise mit dem chirurgischen Instrument und der dreidimensionalen Aufnahme eines Körperäußeren verknüpft wird.

[0014] Vorzugsweise werden eine Position des zu untersuchenden Bereichs des Körpers und eine Position des chirurgischen Instruments durch eine Registrierung in der Positionsdatendarstellung miteinander verknüpft. Durch eine Registrierung werden in einer Transformation Ortsdaten des Körpers mit Ortsdaten des chirurgischen Instruments verknüpft, so dass diese in einer festen Beziehung zueinander stehen. Dies ist besonders vorteilhaft, wenn in einer einzelnen Aufnahme der zu untersuchende Bereich oder das chirurgische Instrument nur teilweise sichtbar sind oder nicht in eine klare Beziehung zueinander gesetzt werden können. Zur Registrierung können auch mehrere Aufnahmen durchgeführt werden, die über gemeinsame Punkte miteinander verknüpft werden. Typischerweise werden bei der Registrierung Punkte von unterschiedlichen Objekten angemeldet, d. h. detektiert und gleichzeitig in einem globalen Koordinatensystem, das beispielsweise durch die Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem und dem zweiten Koordinatensystem gegeben ist, in Relation zueinander gesetzt.

[0015] Besonders vorzugsweise wird jedoch durch eine einzige Aufnahme der zu untersuchende Bereich und das chirurgische Instrument gleichzeitig aufgenommen, was eine einfache Verknüpfung ermöglicht und das Verfahren beschleunigt.

[0016] Die Positionsdatendarstellung wird durch Lasertriangulation, optische Pulslaufzeitmessung, optische Richtungsdetektion und bzw. oder strukturierte Beleuchtung erhalten. Durch die genannten Methoden oder eine Kombination dieser Methoden können dreidimensionale Informationen bereits mit einer einzelnen Aufnahme erhalten werden. Unter strukturierter Beleuchtung soll hierbei ein Projizieren von Mustern verstanden werden, bei dem Abweichungen oder Verzerrungen des Musters erkannt und analysiert werden. Durch die Tiefe eines angestrahlten Objekts wird eine beispielsweise linienförmige Struktur des verwendeten Beleuchtungsmusters in zumindest einer Koordinatenrichtung verzerrt. Aus der Ver-

zerrung kann dann die Tiefe des Objekts ortsauflöst bestimmt werden. Diese dreidimensionalen Daten werden typischerweise über eine Musterdatenbank mit eingelernten Inhalten abgeglichen und vorzugsweise einem Trackingalgorithmus zur weiteren Verarbeitung zugeführt.

[0017] Es kann vorgesehen sein, dass eine zweidimensionale Aufnahme des zu untersuchenden Bereichs des Körpers durch eine konventionelle optische Kamera angefertigt wird und die zweidimensionale Aufnahme mit der Positionsdatendarstellung überlagert wird. Zwar ist durch die dreidimensionale Darstellung das Aufnehmen einer zweidimensionalen Darstellung redundant, die zweidimensionale Darstellung kann jedoch dazu verwendet werden, eine Genauigkeit des Verfahrens aufgrund der Redundanz zu verbessern. Eine Kombination aus der zweidimensionalen Aufnahme mittels der konventionellen Kamera in Verbindung mit strukturierter Beleuchtung oder Laufzeitkameras erlaubt eine besonders schnelle und einfache dreidimensionale Oberflächenregistrierung, damit das chirurgische Instrument in der korrekten Position in den Bilddaten dargestellt wird.

[0018] Es kann vorgesehen sein, dass die einzelnen Aufnahmen des zu untersuchenden Bereichs und des chirurgischen Instruments in bestimmten Zeitabständen wiederholt werden, um eine Lageänderung des Körpers zu detektieren. Typischerweise erfolgt eine Wiederholung der Aufnahmen mit einer Frequenz von 10 Hz bis 60 Hz, vorzugsweise 20 Hz bis 50 Hz, besonders vorzugsweise 30 Hz bis 40 Hz.

[0019] Eine Vorrichtung zur intraoperativen Navigation weist ein optisches Navigationskamarasystem, ein medizinisches Bilderfassungssystem und eine Recheneinheit mit Anzeigeeinheit auf. Das optische Navigationskamarasystem ist dazu eingerichtet, eine einzelne Aufnahme eines zu untersuchenden Bereichs eines Körpers sowie gleichzeitig eine einzelne Aufnahme eines chirurgischen Instruments mit jeweils dreidimensionalen Informationen zu machen. Das medizinische Bilderfassungssystem ist dazu ausgebildet, medizinisch bildgebende Aufnahmen des zu untersuchenden Bereichs zu machen. Die elektronische Recheneinheit ist dazu ausgebildet, die mittels des optischen Navigationskamarasystems gemachte Aufnahme zu einer dreidimensionalen Positionsdatendarstellung des zu untersuchenden Bereichs und des chirurgischen Instruments in einem ersten Koordinatensystem zu verarbeiten. Außerdem ist die elektronische Recheneinheit dazu ausgebildet, die mittels des medizinischen Bilderfassungssystems gemachten Aufnahmen zu einer dreidimensionalen Bilddatendarstellung des zu untersuchenden Bereichs in einem zweiten Koordinatensystem zu verarbeiten sowie eine Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem und dem zweiten Koordinatensystem durchzuführen und die

Positionsdatendarstellung und die Bilddatendarstellung in Echtzeit zu überlagern. Diese Überlagerung wird dann als kombinierte Darstellung ebenfalls in Echtzeit auf der Anzeigeeinheit ausgegeben.

[0020] Die Vorrichtung kann eine konventionelle optische Kamera zum Erzeugen von zweidimensionalen Aufnahmen des zu untersuchenden Bereichs des Körpers aufweisen. Die Recheneinheit ist dann dazu ausgebildet, die zweidimensionalen Aufnahmen mit der Positionsdatendarstellung zu kombinieren. Hierdurch wird eine Qualität der kombinierten Darstellung durch ein redundantes Abbildungssystem erhöht.

[0021] Das optische Kamerasystem ist eine Laufzeitkamera oder ein Kamerasystem zur strukturierten Beleuchtung und weist eine Lichtquelle und eine Kamera als Detektor auf. Sowohl durch eine Laufzeitkamera als auch durch strukturierte Beleuchtung können dreidimensionale Informationen aus bereits einer einzelnen Aufnahme erhalten werden. Vorzugsweise weist das optische Kamerasystem genau eine einzige Kamera zur dreidimensionalen Erfassung auf, so dass auf einen Einsatz von umständlich zu handhabenden Stereokameras verzichtet werden kann.

[0022] Vorzugsweise ist der zu untersuchende Bereich und bzw. oder das chirurgische Instrument mit Markern zum vereinfachten Ermitteln der Positionsdaten und der Lagedaten versehen.

[0023] Das beschriebene Verfahren kann mit der beschriebenen Vorrichtung durchgeführt werden bzw. die beschriebene Vorrichtung ist dazu eingerichtet, das beschriebene Verfahren auszuführen.

[0024] Ein Computerprogrammprodukt enthält eine auf einem maschinenlesbaren Träger gespeicherte Befehlsfolge zum Durchführen des beschriebenen Verfahrens und bzw. Oder zum Ansteuern der beschriebenen Vorrichtung, wenn das Computerprogrammprodukt auf einer elektronischen Recheneinheit ausgeführt wird oder abläuft.

[0025] Das beschriebene Verfahren, die beschriebene Vorrichtung bzw. das beschriebene Computerprogrammprodukt kann sowohl bei chirurgischen Operationen am Menschen und bzw. oder am Tier verwendet werden.

[0026] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend anhand der **Fig. 1** und **Fig. 2** erläutert.

[0027] Es zeigen:

[0028] **Fig. 1** eine schematische Ansicht eines Operationssaals mit einer Vorrichtung zur chirurgischen Navigation und

[0029] Fig. 2 eine Fig. 1 entsprechend Ansicht, bei der die Vorrichtung zur chirurgischen Navigation um eine konventionelle Kamera ergänzt wurde.

[0030] Fig. 1 zeigt in einer schematischen Ansicht einen Operationssaal mit einer Vorrichtung zur chirurgischen Navigation. Die Vorrichtung weist ein Navigationskamarasystem mit einer Lichtquelle **1** und einer Kamera **2** auf. Die Lichtquelle **1** und die Kamera **2** sind über einen verstellbaren Winkelarm **3** mit einer Decke **4** des Operationssaals verbunden, können aber natürlich in weiteren Ausführungsbeispielen auch an einer Halterung befestigt sein. An der Decke **4** ist ebenfalls über einen Arm **5** ein Bildschirm **6** angeordnet, der in dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ein Doppelbildschirm ist. Sowohl die Lichtquelle **1** als auch die Kamera **2** und der Bildschirm **6** sind elektrisch mit einem Rechner **7** verbunden, der diese steuert. Diese Verbindung kann über Kabel oder drahtlos erfolgen. In weiteren Ausführungsbeispielen kann der Rechner **7** auch automatisiert den Winkelarm **3** ansteuern und verstellen.

[0031] Auf einem OP-Tisch **8** befindet sich ein Patient **9**, der operiert werden soll. In Vorbereitung der Operation, im dargestellten Ausführungsbeispiel eine Schädelbasischirurgie, oder während der Operation wird in einem Registrierprozess von einem Gesicht des Patienten **9** ein dreidimensionales Oberflächenmodell mit dem Navigationskamarasystem erstellt. Das Kamerasystem hat hierzu ein freies Blickfeld auf den Patienten **9** und kann über den Winkelarm **3** justiert werden. Ein chirurgisches Instrument **10** wird in ein Blickfeld des Navigationskamarasystems gehalten und kann von dem Navigationskamarasystem ohne spezielle Marker oder alternativ mit Markern erkannt werden. Ebenso kann der Kopf des Patienten **9** ohne spezielle Marker oder mit Markern versehen erkannt werden. Bei der Registrierung wird eine Beziehung zwischen den Positionen des chirurgischen Instruments **10** und des Gesichts des Patienten **9** erstellt. Zur Registrierung können in weiteren Ausführungsbeispielen auch mehrere Aufnahmen gemacht werden, die über charakteristische Punkte in den Aufnahmen miteinander verknüpft werden.

[0032] Das chirurgische Instrument **10** muss in dem dargestellten Ausführungsbeispiel in einer bestimmten Position zum Kopf des Patienten **9** gehalten werden, damit Patientenkopf und chirurgisches Instrument **10** zur gleichen Zeit für das Navigationskamarasystem sichtbar sind. Die Lichtquelle **1** der Navigationskamera sendet Licht im infraroten Wellenlängenbereich aus und dient einer strukturierten Beleuchtung, d. h. es werden mehrere Geraden auf den Patientenkopf projiziert. Durch eine Verzerrung der Geraden auf dem Patientenkopf können Rückschlüsse auf eine dreidimensionale Struktur des Patientenkopfs gezogen und eine Kontur des Patientenkopfs errechnet werden. Hierzu ist im Rechner eine Musterdaten-

bank mit verschiedenen verzerrten Mustern enthalten, bei der durch einen Abgleich mit den gemessenen Daten über einen Trackingalgorithmus des Computerprogrammprodukts passende Tiefeninformationen erhalten werden können.

[0033] Die Lichtquelle **1** kann in weiteren Ausführungsbeispielen ein punktförmiges und sich wiederholendes Muster auf den Patienten als zu überwachendes Objekt projizieren. Wie gehabt erfolgt zu jedem Zeitpunkt die Erzeugung eines kompletten dreidimensionalen Oberflächenmodells eines Operationsgebiets. Das Punktmuster wird hierbei über eine einzelne Musterplatte erzeugt und über einen einfachen Prismenaufbau vervielfacht, um den beobachtbaren Bereich zu vergrößern. Die Lichtquelle **1** kann eine lichtemittierende Diode (LED) oder ein Laser sein und elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich von 700 nm bis 1100 nm aussenden. Die Kamera **2**, beispielsweise eine CCD-Kamera, ist zur orts aufgelösten Messung des reflektierten Lichts ausgebildet.

[0034] Die Kamera **2** ist ein Detektor für infrarote Strahlung, die die aufgrund einer Kopfform verzerrten Geraden auf dem Patientenkopf aufnimmt. Der Rechner **7**, ein Computer oder ein Tablet, umfasst eine Navigationssoftware, die von einer Compact Disc (CD), Digital Versatile Disc (DVD), einem Universal Serial Bus (USB)-Stick oder einem anderen Speichermedium, auf dem sie gespeichert ist, auf den Rechner **7** geladen wird und dort ausgeführt wird. Die Navigationssoftware kann natürlich auch auf einer Festplatte oder einer sonstigen Speichereinheit des Rechners **7** bereits gespeichert sein. Die Navigationssoftware berechnet in Echtzeit und zeigt ebenfalls in Echtzeit, also mit einem maximalen zeitlichen Versatz zwischen Bildaufnahme und Bildwiedergabe von 20 ms, eine Position einer Spitze des chirurgischen Instruments **10** in Bezug auf den durch strukturierte Beleuchtung vermessenen Patientenkopf an.

[0035] Außerdem ist ein schematisch dargestellter Computertomograph **11** in dem Operationssaal vorhanden, der Bilder eines Körperinneren des Patienten **9** anfertigt. Dies kann sowohl vor der Operation als auch während der Operation erfolgen. Von dem Computertomographen **11** angefertigte CT-Bilder werden ebenfalls an den Rechner **7** übertragen und dort in Echtzeit mit den Bildern des Kamerasystems überlagert. Hierfür wird eine Koordinatentransformation zwischen einem ersten Koordinatensystem des Navigationskamarasystems und einem zweiten Koordinatensystem des Computertomographen durchgeführt. In dem durch die Transformation erhaltenen globalen Koordinatensystem wird auch die bei der Registrierung erhaltene Beziehung zwischen den Positionen des chirurgischen Instruments **10** und dem Gesichts des Patienten **9** berücksichtigt. In weiteren Ausführungsbeispielen kann statt des

oder zusätzlich zu dem Computertomographen **11** auch ein Magnetresonanztomograph Bilder an den Rechner **7** übermitteln, die dort überlagert werden.

[0036] Die im Rechner **7** erzeugten kombinierten Darstellungen werden an den Bildschirm **6** weitergeleitet und dort in der linken Hälfte **12** in einer Vier-Quadranten-Darstellung eine dreidimensionale überlagerte Darstellung sowie axiale, sagittale und coronale Schnittdarstellung der CT-Bilder mit eingeblendetem chirurgischem Instrument **10** dargestellt. Auf der rechten Hälfte können weitere Informationen für einen Chirurgen eingeblendet werden, beispielsweise Blutdruck, Herzfrequenz oder mit einer weiteren Kamera aufgenommene Bilder.

[0037] In weiteren Ausführungsbeispielen kann das Navigationskammersystem auch beweglich sein, ist also nicht an der Decke **4** fest angebracht. Durch ein derartiges mobiles System können nach Bedarf verschiedene Operationssäle mit einer zuverlässigen dreidimensionalen intraoperativen Navigation ausgestattet werden.

[0038] Fig. 2 zeigt in einer Fig. 1 entsprechenden Darstellung eine weitere Ausführungsform der Vorrichtung zur chirurgischen Navigation. Wiederkehrende Merkmale sind mit identischen Bezugszeichen versehen. Die Vorrichtung weist nun zusätzlich eine konventionelle Kamera **13** auf, die an einem Winkelarm **14** an der Decke **4** befestigt ist, in weiteren Ausführungsbeispielen aber natürlich auch anderweitig im Operationssaal angebracht sein kann. Die Kamera **13** ist wie das Navigationskammersystem mit dem Rechner **7** verbunden und nimmt ein zweidimensionales Bild des Patienten **9** auf, das mit den CT-Bildern und der Aufnahme des Navigationskammersystems überlagert wird, um eine Genauigkeit der Bilddarstellung zu erhöhen. Die konventionelle Kamera **13** ist hierbei sensitiv für Strahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich zwischen 400 nm und 780 nm.

[0039] Außerdem sind nun an dem Patientenkopf Marker **15** angebracht, die infrarote Strahlung reflektieren und daher von der Kamera **2** einfach detektiert werden können. Die Navigationskamera kann in weiteren Ausführungsbeispielen auch eine Laufzeitkamera (auch als Time-of-flight-Kamera oder TOF-Kamera bezeichnet) sein oder auf dem Prinzip der Lasertriangulation, der optischen Pulslaufzeitmessung, optischen Richtungsdetektion oder einer Kombination dieser Methoden beruhen.

[0040] Falls eine Laufzeitkamera verwendet wird, wird eine Lichtlaufzeit von der Lichtquelle **1** zum Patienten **9** und von dort zur Kamera **2** gemessen und hieraus eine Distanz zwischen Navigationskammersystem und dem Patienten **9** bestimmt. Die Lichtquelle **1** sendet in diesem Ausführungsbeispiel pulsformiges Licht auf den Patienten **9**, wobei die zwischen

der Aussendung eines einzelnen Lichtpulses und der Detektion dieses Lichtpulses vergangene Zeit zur Berechnung der Entfernung benutzt wird.

[0041] Die Kamera **2** nimmt typischerweise nur eine einzelne Aufnahme auf und leitet diese zur Weiterverarbeitung an den Rechner **7** weiter, da in einer Aufnahme bereits alle dreidimensionalen Informationen, die zum Kombinieren und Überlagern mit den CT-Bildern benötigt sind, enthalten sind. Mit einer bestimmten Frequenz macht das Navigationskammersystem während der Operation weitere Aufnahmen, um die kombinierte Darstellung mit neuen Informationen zu aktualisieren, beispielsweise, wenn der Patient **9** bewegt wurde. Eine Frequenz dieser Aktualisierungen beträgt 30 Hz, um auch kleinere Bewegungen wie eine Atmung abzubilden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur intraoperativen Navigation, bei dem eine einzelne Aufnahme eines zu untersuchenden Bereichs eines Körpers (**9**) sowie gleichzeitig eine einzelne Aufnahme eines chirurgischen Instruments (**10**) durch ein optisches Navigationskammersystem (**1, 2**) mit einer Lichtquelle (**1**) und einem Detektor (**2**) mit jeweils dreidimensionalen Informationen gemacht werden und die Aufnahmen zu einer dreidimensionalen Positionsdatendarstellung des zu untersuchenden Bereichs und des chirurgischen Instruments (**10**) in einem ersten Koordinatensystem verarbeitet werden, wobei die Positionsdatendarstellung durch optische Pulslaufzeitmessung und Lasertriangulation oder optische Pulslaufzeitmessung und strukturierte Beleuchtung erhalten wird, sowie Aufnahmen des zu untersuchenden Bereichs des Körpers (**9**) mittels eines medizinischen Bilderfassungssystems (**11**) gemacht werden und zu einer dreidimensionalen Bilddatendarstellung des zu untersuchenden Bereichs in einem zweiten Koordinatensystem verarbeitet werden, wobei eine Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem und dem zweiten Koordinatensystem durchgeführt wird, bei der die Positionsdatendarstellung und die Bilddatendarstellung überlagert werden und als kombinierte Darstellung in Echtzeit ausgegeben werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aufnahmen des zu untersuchenden Bereichs des Körpers (**9**) mittels eines medizinischen Bilderfassungssystems durch Computertomographie oder Magnetresonanztomographie als bildgebende Verfahren erhalten werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Position des zu untersuchenden Bereichs des Körpers (**9**) und eine Position des chirurgischen Instruments (**10**) durch eine Registrierung in der Positionsdatendarstellung miteinander verknüpft werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine zweidimensionale Aufnahme des zu untersuchenden Bereichs des Körpers (9) durch eine konventionelle optische Kamera (13) angefertigt wird und die zweidimensionale Aufnahme mit der Positionsdatendarstellung überlagert wird.

puterprogramm auf einer elektronischen Recheneinheit (7) ausgeführt wird.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

5. Vorrichtung zur intraoperativen Navigation, mit einem optischen Navigationskamarasystem (1, 2), mit einer Lichtquelle (1) und einem Detektor (2), wobei des optische Navigationskamarasystem (1, 2) eine Laufzeitkamera und ein Kamerasystem zur strukturierten Beleuchtung oder eine Laufzeitkamera und ein Kamerasystem zur Lasertriangulation ist, und das eingerichtet ist, eine einzelne Aufnahme eines zu untersuchenden Bereichs eines Körpers (9) sowie gleichzeitig eine einzelne Aufnahme eines chirurgischen Instruments (10) zu machen, einem medizinischen Bilderfassungssystem (11), das ausgebildet ist, medizinisch bildgebende Aufnahmen des zu untersuchenden Bereichs des Körpers (9) zu machen, und einer elektronischen Recheneinheit (7) mit einer Anzeigeeinheit (6), die ausgebildet ist, die mittels des optischen Navigationskamarasystems (1, 2) gemachten Aufnahmen zu einer dreidimensionalen Positionsdatendarstellung des zu untersuchenden Bereichs und des chirurgischen Instruments (10) in einem ersten Koordinatensystem zu verarbeiten und die mittels des medizinischen Bilderfassungssystems (11) gemachten Aufnahmen zu einer dreidimensionalen Bilddatendarstellung des zu untersuchenden Bereichs in einem zweiten Koordinatensystem zu verarbeiten sowie eine Koordinatentransformation zwischen dem ersten Koordinatensystem und dem zweiten Koordinatensystem durchzuführen und die Positionsdatendarstellung und die Bilddatendarstellung zu überlagern und als kombinierte Darstellung in Echtzeit auf der Anzeigeeinheit (6) auszugeben.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine konventionelle optische Kamera (13) zum Erzeugen von zweidimensionalen Aufnahmen des zu untersuchenden Bereichs des Körpers (9) vorgesehen ist, wobei die Recheneinheit (7) zur Kombination der zweidimensionalen Aufnahmen mit der Positionsdatendarstellung ausgebildet ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zu untersuchende Bereich und/oder das chirurgische Instrument (10) mit Markern (15) zum vereinfachten Ermitteln der Positionen versehen ist/sind.

8. Computerprogramm, enthaltend eine auf einem maschinenlesbaren Träger gespeicherte Befehlsfolge zum Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1–4 und/oder zum Ansteuern der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5–7, wenn das Com-

Anhängende Zeichnungen

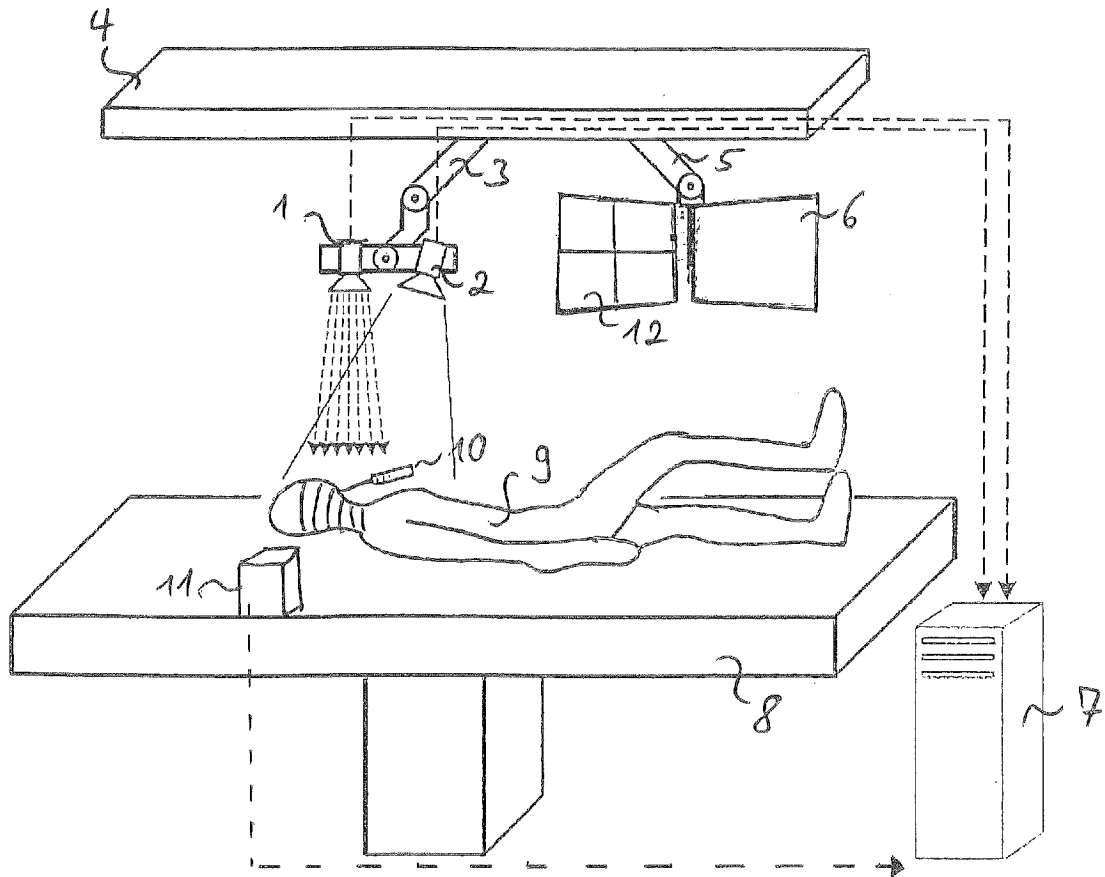


Fig. 1

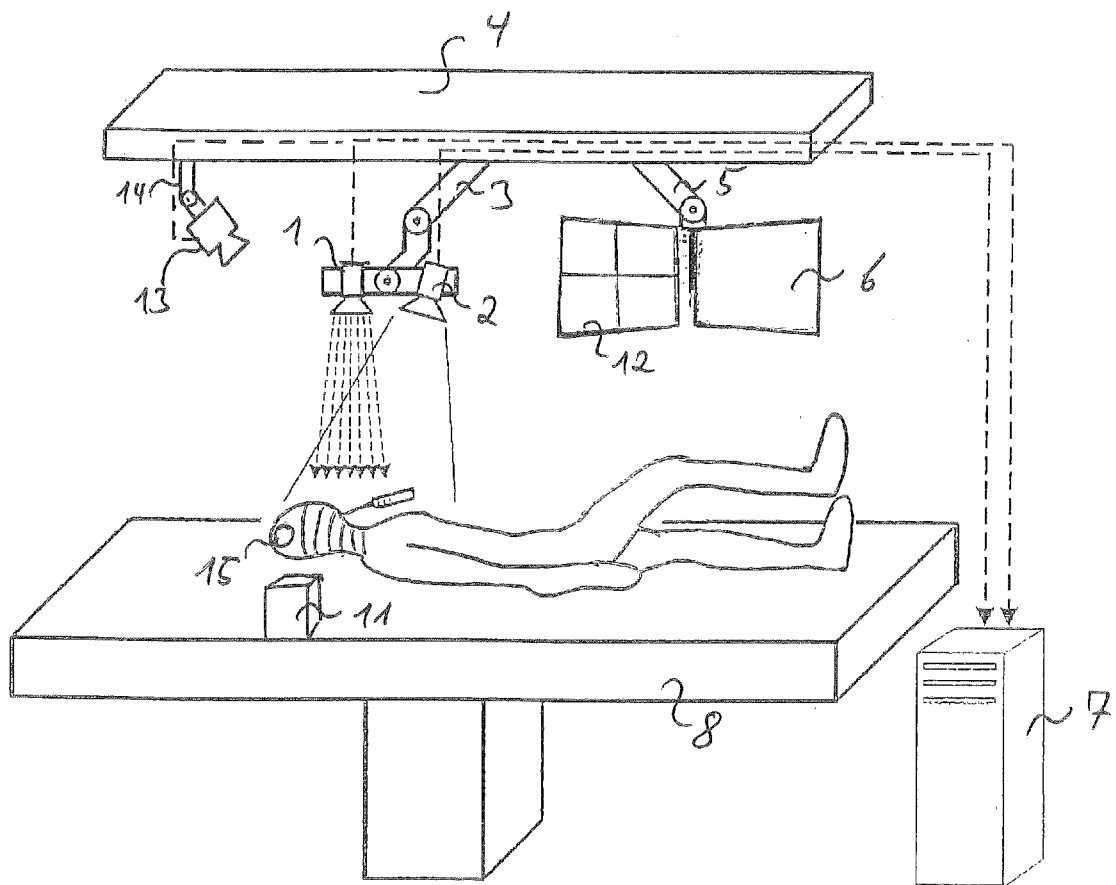


Fig. 2