



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 18 010 T2** 2008.11.27

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 465 541 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 18 010.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/CA03/00069**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 700 269.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/061501**

(86) PCT-Anmeldetag: **16.01.2003**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **31.07.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **13.10.2004**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **12.12.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **27.11.2008**

(51) Int Cl.⁸: **A61B 19/00** (2006.01)
G01B 5/016 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

PCT/CA02/00047	16.01.2002	WO
349267 P	18.01.2002	US

(73) Patentinhaber:

Orthosoft, Inc., Montreal, Quebec, CA

(74) Vertreter:

Betten & Resch, 80333 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR**

(72) Erfinder:

RICHARD, Alain, Montreal, Quebec H9J 3S9, CA

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR REKONSTRUKTION VON KNOCHENOBERFLÄCHEN
WÄHREND EINER CHIRURGISCHEN BEHANDLUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

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

Beschreibung**GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der computergestützten Chirurgie oder der bildgeführten Chirurgie. Insbesondere bezieht sie sich auf die Rekonstruktion der Oberfläche eines Knochens während einer Operation.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Da uns die Technik erlaubt, auf dem Gebiet der computergestützten Chirurgie Fortschritte zu erzielen, werden solche Systeme weiter spezialisiert und verfeinert. Die Fortschritte, die für die orthopädische Chirurgie erzielt werden, sind besonders beeindruckend. Diese Systeme erlauben Chirurgen, sich für die Operation vorzubereiten, indem sie 3D-Modelle der Anatomie des Patienten betrachten, die unter Verwendung von präoperativen Bildern, wie z. B. Abtastungen und Röntgenbildern, rekonstruiert wurden. In die dreidimensionalen Bilder können an beliebigen interessierenden Stellen virtuelle Planungsmarkierungen eingesetzt werden, wobei das ideale Implantat oder die ideale Prothese für einen spezifischen Patienten entworfen werden können, indem virtuelle Implantatmodelle konstruiert werden und die Ergebnisse mit dem rekonstruierten Modell simuliert werden.

[0003] Ferner werden während der Operation viele chirurgische Instrumente nun verfolgt und können auf den rekonstruierten 3D-Modellen angezeigt werden, um Chirurgen eine Referenz zur Verfügung zu stellen, wo sie sich innerhalb eines Patientenkörpers befinden. Dies ist ein wertvoller Gewinn in der Chirurgie, die schwierige Prozeduren verwendet, die dem Chirurgen sehr wenig Raum zum Manövrieren lassen. Leider kann dieses Merkmal nur vorteilhaft genutzt werden, wenn eine 3D-Rekonstruktion der Patientenstruktur erstellt wurde. Dies wird präoperativ unter Verwendung verschiedener Abbildungstechniken bewerkstelligt und kann für einen Chirurgen recht zeitaufwendig werden.

[0004] Es ist jedoch wünschenswert, die präoperative Zeit, die ein Chirurg zur Vorbereitung einer Operation aufwenden muss, einzuschränken. Es ist ferner wünschenswert, eine Anwendung zu entwickeln, die andere Medien als Computertomographie-(CT)-Abtastungen verwenden kann, wenn diese nicht verfügbar sind.

[0005] Da es außerdem vorteilhaft ist, einem Chirurgen eine visuelle Bestätigung der Aufgaben zur Verfügung zu stellen, die er während der Operation ausführt, besteht ein Bedarf an der Entwicklung eines CT-losen interoperativen Knochenrekonstruktions-systems.

[0006] EP 0919203 beschreibt einen rahmenlosen, stereotaktischen, tomographischen Abtaster, der eine Abbildungsvorrichtung enthält, die ein Koordinatensystem im Abtasterraum definiert. Eine Lokalisierervorrichtung enthält einen Basisabschnitt, der in einer festen Beziehung zur Abbildungsvorrichtung montiert ist, und ein freies Ende, das für eine selektive Bewegung in verschiedene Positionen nahe einem auf der Abbildungsvorrichtung befindlichen Patientenkörper ausgelegt ist. Ein Positionswandler, der der Lokalisierervorrichtung zugeordnet ist, erzeugt in einem Lokalisiererraum Lokalisierervorrichtungsspitze-Ortsinformationen, wenn die Lokalisierervorrichtung nahe dem Patientenkörper bewegt wird. Ein Prozessor konvertiert die Lokalisiererspitze-Ortsinformationen zu konvertierten Lokalisiererspitze-Ortsinformationen in einem Bildraum. Die Abbildungsvorrichtung ist dafür ausgelegt, Patientenkörper-Bildinformationen in dem Bildraum bezüglich des auf der Vorrichtung befindlichen Patientenkörpers zu erzeugen. Eine Anzeigeeinheit ist enthalten, um die Patientenkörper-Bildinformationen zusammen mit den Lokalisiererspitze-Positionsinformationen auf einem von einem Menschen lesbaren Anzeigemonitor anzuzeigen. Der Basisabschnitt der Lokalisierervorrichtung ist für eine Montage auf der Abbildungsvorrichtung an mehreren festen Positionen ausgelegt.

[0007] US-6.006.126 beschreibt ein System für eine Computergraphikbestimmung und Anzeige der Anatomie eines Patienten, wie aus einer CT- oder MR-Abtastung, die zusammen mit der zugehörigen Ausrüstung in einem Objektfeld, das die Patienten-anatomie enthält, gespeichert wird. Eine erste Digitalisierungskamerastruktur erzeugt ein Signal, das deren Sichtfeld repräsentiert und Koordinaten der Indexpunkte in diesem Sichtfeld definiert. Eine zweite Digitalisierungskamerastruktur erzeugt eine ähnliche Ausgabe für ein versetztes Sichtfeld. Die zwei Kamerapositionen sind bezüglich der Patienten-anatomie so definiert, dass die Sichtfelder der Kameras sowohl die Patienten-anatomie als auch die Ausrüstung enthalten, jedoch aus verschiedenen Richtungen aufgenommen werden. Indexmarkierungen sind zum Fixieren von Punkten in den Sichtfeldern und lokalisieren entsprechend die Ausrüstung relativ zur Patienten-anatomie. Die Indexmarkierungen werden durch eine Vielfalt von Strukturen bereitgestellt, einschließlich Lichtquellen in verschiedenen Formen, wie Reflektoren, Dioden und Laserabtasterstrukturen, um ein sichtbares Gitter, Netz oder eine Wolke von Punkten bereitzustellen.

[0008] US 6.033.415 beschreibt ein Verfahren zum Transformieren eines Knochenbilddatensatzes, der wenigstens ein Teilbild eines langen Knochens repräsentiert, in ein Roboterkoordinatensystem, das die Erzeugung des Knochenbilddatensatzes aus einem Knochenbild, die Registrierung eines Knochendigitalisiererarms zum Roboterkoordinatensystem, die Er-

zeugung eines digitalisierten Knochendatensatzes durch Aufnehmen von Knochenoberflächenpositionsmessungen mit dem Digitalisiererarm, und das Transformieren des Knochenbilddatensatzes in das Roboterkoordinatensystem durch Ausführen einer Ausgleichsberechnung zwischen Koordinaten des Knochenbilddatensatzes und entsprechenden Koordinaten des digitalisierten Knochendatensatzes umfasst.

ÜBERBLICK ÜBER DIE ERFINDUNG

[0009] Dementsprechend ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die präoperative Zeit in chirurgischen Prozeduren zu reduzieren.

[0010] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, die Zeit der Instrumentenkalibrierung in chirurgischen Prozeduren zu reduzieren.

[0011] Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, ein einfaches CT-loses System zu schaffen, das für einfache chirurgische Fälle verwendet wird, und das in Kombination mit einem CT-basierten System für schwierige chirurgische Fälle verwendet werden kann.

[0012] Gemäß einem ersten weitreichenden Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum intraoperativen Darstellen eines Näherungsmodells einer anatomischen Struktur, die kein Teil eines lebenden menschlichen oder tierischen Körpers ist, geschaffen, wobei das Verfahren umfasst: Anbringen eines Aufzeichnungswerkzeugs, das an einem ersten Ende eine flache Scheibenoberfläche besitzt und ein ihm zugeordnetes Positionserfassungssystem besitzt, an mehreren Orten an der anatomischen Struktur; Erfassen von Eingangsdaten unter Verwendung des Aufzeichnungswerkzeugs, derart, dass für jeden der Orte ein Punkt aufgezeichnet wird; Verarbeiten der Eingangsdaten zu einem Näherungsmodell der anatomischen Struktur; und Anzeigen des Näherungsmodells auf einer Ausgabevorrichtung.

[0013] Das Aufzeichnungswerkzeug ist mit einer Spitze versehen, die eine flache Oberfläche aufweist und dafür ausgelegt ist, mit der Oberfläche einer anatomischen Struktur Kontakt herzustellen und die Normale am Kontaktpunkt aufzuzeichnen. Vorzugsweise wird eine Punktwolke als Mosaik auf der Ausgabevorrichtung angezeigt. Alternativ wird die Punktwolke geglättet und auf der Ausgabevorrichtung wird eine geglättete Oberfläche angezeigt. Die Punkte, an denen die Daten aufgenommen wurden, können ebenfalls auf der geglätteten Oberfläche angezeigt werden. Ferner wird alternativ eine dreidimensionale Rekonstruktion auf der Grundlage der erfassten Eingangsdaten durchgeführt.

[0014] Außerdem kann eine Datenbank bekannter

Modelle der anatomischen Oberfläche verwendet werden, um den Abschnitt der anatomischen Oberfläche, der durch die Punktwolke, die geglättete Oberfläche oder die dreidimensionale Rekonstruktion repräsentiert wird, anzufügen.

[0015] Gemäß einem zweiten weitreichenden Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein System zum Anzeigen eines Näherungsmodells einer Oberfläche einer anatomischen Struktur geschaffen, wie in Anspruch 22 definiert ist.

[0016] Das Verarbeitungsmodul kann vorzugsweise auch entweder eine Glättung einer Oberfläche oder eine Rekonstruktion eines dreidimensionalen Modells durchführen. Ferner kann eine Datenbank bekannter Modelle vorhanden sein, um irgendeinen Abschnitt der anatomischen Oberfläche, die durch die erfassten Eingangsdaten repräsentiert wird, anzulegen, um ein gesamtes Modell der anatomischen Oberfläche anzuzeigen.

[0017] Ferner weist das Aufzeichnungswerkzeug vorzugsweise eine Spitze auf, die dafür ausgelegt ist, Kontakt mit der Oberfläche einer anatomischen Struktur herzustellen und die Normale am Kontaktpunkt aufzuzeichnen. Die Normale für jeden Kontaktpunkt ist in den Eingangsdaten enthalten und wird in der Darstellung der anatomischen Oberfläche verwendet.

[0018] Gemäß einem dritten weitreichenden Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Aufzeichnungswerkzeug geschaffen, wie in Anspruch 19 definiert ist.

[0019] Das Werkzeug ist ein zweiendiges Werkzeug mit einer ersten flachen Oberfläche am ersten Ende und einer zweiten flachen Oberfläche am zweiten Ende, die ferner dafür ausgelegt ist, die Normale an einem Kontaktpunkte zu bestimmen. Die erste flache Oberfläche und die zweite flache Oberfläche weisen unterschiedliche Abmessungen auf.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0020] Diese und andere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden mit Bezug auf die folgende Beschreibung und die beigefügten Zeichnungen besser verstanden, in welchen:

[0021] [Fig. 1](#) ein Flussdiagramm des Verfahrens gemäß der Erfindung ist;

[0022] [Fig. 2](#) die Mosaikrekonstruktion eines Knochens zeigt;

[0023] [Fig. 3](#) den rekonstruierten Knochen nach einer Glättung zeigt;

[0024] [Fig. 4](#) ein Diagramm eines Aufzeichnungswerkzeugs mit einer adaptiven Spitze ist;

[0025] [Fig. 5](#) ein Blockdiagramm des Systems gemäß der Erfindung ist; und

[0026] [Fig. 6](#) ein Blockdiagramm eines Abschnitts des Systems der [Fig. 5](#) ist.

GENAUE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0027] Zum Zweck dieser Beschreibung wird eine Knie-Totallersatzoperation verwendet, um die Erfindung zu demonstrieren. Es ist jedoch hervorzuheben, dass die Erfindung verwendet werden kann, um die Oberfläche einer beliebigen anatomischen Struktur in einem Körper zu rekonstruieren.

[0028] [Fig. 1](#) ist ein Flussdiagramm, das die Schritte beschreibt, die verwendet werden, um interoperativ ein Näherungsmodell einer anatomischen Struktur auf einer Ausgabevorrichtung anzuzeigen. Der erste Schritt besteht darin, ein Aufzeichnungswerkzeug an die anatomische Oberfläche **20** zu bringen. Dieses Werkzeug kann ein standardisierter Digitalisierungszeiger, ein Laserzeiger oder irgendein anderes Aufzeichnungswerkzeug sein, das Fachleuten bekannt ist. Ein Positionserfassungssystem muss dem Werkzeug zugeordnet sein, um die Position und Ausrichtung des Erfassungswerkzeuges zu verfolgen, wenn es sich über die Oberfläche der anatomischen Struktur bewegt. In einer bevorzugten Ausführungsform wird ein infrarotlicht reflektierendes Verfolgungssystem mit wenigstens drei Reflektoren verwendet. Alternativ kann irgendein mechanisches, elektromagnetisches oder optisches Positionserfassungssystem verwendet werden. Der nächste Schritt besteht aus der Erfassung von Eingangsdaten an jedem Kontaktpunkt **22**.

[0029] In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Normale an jedem Kontaktpunkt bestimmt und in die Eingangsdaten eingegliedert. Ein Werkzeug mit einer kleinen flachen Oberfläche, wie z. B. einer kleinen Scheibe, wird verwendet, um die Daten zu erfassen, so dass anstelle nur der Aufzeichnung eines Punktes an jedem Kontaktpunkt eine kleine Oberfläche aufgezeichnet wird. Die Eingangsdaten werden anschließend zu einem Näherungsmodell der anatomischen Oberfläche **23** verarbeitet und dann auf der Ausgabevorrichtung **24** angezeigt.

[0030] Die Verarbeitung kann einfach das Transformieren der Eingangsdaten in eine Punktwolke umfassen, die ein Mosaik bildet, das einen Abschnitt der anatomischen Oberfläche repräsentiert, die digitalisiert wurde. Ein Beispiel eines Abschnitts eines Oberschenkelknochens ist in [Fig. 2](#) durch eine Punktwolke dargestellt gezeigt. Alternativ können die Ein-

gangsdaten geglättet werden, um als geglättete Oberfläche angezeigt zu werden, die eine genauere Oberflächentopologie des Abschnitts der anatomischen Struktur repräsentiert, die digitalisiert wurde. Ein Beispiel desselben Oberschenkelabschnitts, der geglättet wurde, ist in [Fig. 3](#) zu sehen. Aus dieser Figur wird deutlich, dass die Normale jedes Kontaktpunkts berücksichtigt wurde, als die Punkte aufgezeichnet wurden. Eine Oberflächentopologie ist anhand der angezeigten Oberfläche offensichtlich.

[0031] Die Eingangsdaten können auch verwendet werden, um ein dreidimensionales Modell des Abschnitts der anatomischen Struktur zu rekonstruieren, die digitalisiert wurde. Dies erfordert eine komplexere Verarbeitung der Eingangsdaten als eine einfache Glättung. Alternativ können die aufgezeichneten Punkte mit einem bekannten Modell derselben anatomischen Struktur abgeglichen werden, wobei das Modell auf der Ausgabevorrichtung mit den auf dem Modell angezeigten digitalisierten Punkten angezeigt wird. Auf diese Weise kann der gesamte Knochen während der Operation visualisiert werden. Alternativ können die Eingangsdaten verwendet werden, um ein ganzes Modell der anatomischen Oberfläche unter Verwendung einer Extrapolation der Eingangsdaten zu rekonstruieren.

[0032] Eine weitere Möglichkeit zum Anzeigen einer gesamten anatomischen Struktur besteht darin, einen Abschnitt eines bekannten Modells an den unter Verwendung des Aufzeichnungswerkzeugs digitalisierten Abschnitt anzulegen. Wenn z. B. der Abschnitt eines Oberschenkelknochens, der digitalisiert ist, aus dem vorderen Kortex, der Kondylenoberfläche und der Interkondylenkerbe besteht, können Schaftabschnitt und ein Oberschenkelkopf von einem bekannten Modell mit kleineren Abmessungen an den digitalisierten Abschnitt angelegt und als gesamter Oberschenkelknochen angezeigt werden. Das bekannte Modell kann an eine Punktwolke angelegt werden, die ein Mosaik, eine geglättete Oberfläche oder eine dreidimensionale Rekonstruktion bildet.

[0033] Optional kann das Modell der auf der Ausgabevorrichtung angezeigten anatomischen Struktur durch Erfassen von mehr Punkten angepasst werden, so dass es die wirkliche Topologie der anatomischen Struktur besser repräsentiert. Wenn mehr Daten erfasst werden, wird das angezeigte Modell aktualisiert, um die neuen Informationen wiederzugeben.

[0034] Sobald ein Modell, das die Anatomie repräsentiert, auf der Ausgabevorrichtung angezeigt wird, können die für die Operation verwendeten Werkzeuge bezüglich dieses Modells verfolgt werden, um somit dem Chirurgen zu erlauben, mit dem Werkzeugen zu navigieren und einen Bezugspunkt im Körper zu haben.

[0035] Die Oberflächenmodellrekonstruktion ist ein Prozess, der dem Benutzer erlaubt, kleine Oberflächen zu digitalisieren, anstelle von lediglich Punkten. Diese Oberflächen können kleine Kreise sein, wie in **Fig. 2** gezeigt ist. Der kleine Kreis ist physikalisch an der Spitze des Aufzeichnungswerkzeugs als kleine flache Scheibe vorhanden. Die Größe der Scheibe (Radius) wird als Kompromiss zwischen Genauigkeit und Zeitaufwand gewählt. Es ist kontraproduktiv, einen Chirurgen aufzufordern, Hunderte von Punkten aufzunehmen, wenn die Oberfläche eines Knochens digitalisiert wird. Je mehr Punkte jedoch aufgenommen werden, desto besser ist die Darstellung des Knochens und desto genauer ist das Modell. Die Größe kann ebenfalls in Abhängigkeit von der Morphologie der Knochenoberfläche variieren, die die Genauigkeit des Werkzeugs beeinflusst. Zum Beispiel kann die Scheibe eine Fläche von 1 cm² abdecken. Die Scheibe muss an der Oberfläche flach sein, um möglichst viel Oberfläche aufzeichnen. Das Werkzeug zeichnet ferner die Normale am Kontaktpunkt zwischen der flachen Scheibenoberfläche und dem Knochen auf. Die Rekonstruktion wird in Echtzeit bewerkstelligt.

[0036] **Fig. 4** zeigt die bevorzugte Ausführungsform des Aufzeichnungswerkzeugs, das im Digitalisierungsprozess zu verwenden ist. Das Werkzeug ist mit einer Positionserfassungsvorrichtung **30** ausgestattet, wie z. B. jenen, die auf dem Gebiet der Verfolgung bekannt sind, und weist drei Positionsidentifizierungsvorrichtungen auf. In dieser Ausführungsform können beide Enden des Werkzeugs als Digitalisierungsspitze dienen, wobei jedes Ende einen anderen Radius aufweist. Das kleinere Ende **32** kann auf anatomischen Oberflächen verwendet werden, die die flache Oberfläche des Werkzeugs nicht leicht aufnehmen. Das größere Ende **34** kann auf flachen anatomischen Oberflächen verwendet werden. Der Benutzer wählt auf dem Computer aus, welches Ende verwendet wird. Alternativ kann eine automatische Erfassung des verwendeten Endes vorhanden sein, wie z. B. eine Computererkennung des Radius der Scheibenoberfläche, wenn diese auf der Knochenoberfläche platziert ist. Für die wirkliche Aufzeichnung der kleinen Oberflächen kann dies auf verschiedene Weise erreicht werden. Zum Beispiel kann ein Knopf am Werkzeug vorhanden sein, der die Digitalisierung steuert. Alternativ kann dies durch Drücken einer Taste auf einer Tastatur zum Auswählen eines zu digitalisierenden Punktes bewerkstelligt werden. Ebenfalls alternativ kann eine Digitalisierung durch einen Rotationsvorgang des Werkzeugs um eine Vierteldrehung ausgelöst werden. Es ist hervorzuheben, dass alternative Ausführungsformen für das Aufzeichnungswerkzeug möglich sind. Zum Beispiel können andere Mehrzweckkombinationen verwendet werden. Ein Ende kann eine Ahle, ein Schraubendreher oder eine Prüfspitze sein, während das andere Ende ein Digitalisierer ist. In ähnlicher Weise kann

das Werkzeug auch ein einendiger Digitalisierer sein.

[0037] **Fig. 5** zeigt das System zum Anzeigen eines Näherungsmodells einer Oberfläche einer anatomischen Struktur gemäß der vorliegenden Erfindung. Ein Aufzeichnungswerkzeug **40** sendet Daten zu einem Positionserfassungssystem **42**, entsprechend seiner Position und Orientierung relativ zu einer anatomischen Struktur. Das Werkzeug **40** wird vom Positionserfassungssystem **42** in einer dreidimensionalen Umgebung verfolgt. Die Orientierung und die Position des Werkzeugs **40** wird vom Positionserfassungssystem erfasst und zu einem Speichermodul **44** übertragen. Die Daten werden anschließend zu einer Ausgabevorrichtung **46**, wie z. B. einem Monitor, gesendet, um sie dem Benutzer anzuzeigen.

[0038] **Fig. 6** ist ein Blockdiagramm des Speichermoduls **44** in einer bevorzugten Ausführungsform. Wenn die Daten, die die Position und die Orientierung des Werkzeugs **40** angeben, vom Speichermodul **44** empfangen werden, können sie auf verschiedene Weise verarbeitet werden. Ein Verarbeitungsmodul **48** wird verwendet, um die Mosaikoberfläche zu glätten, die von den mittels des Werkzeugs **40** aufgezeichneten Daten gebildet wird. Die anfängliche Knochenaufzeichnungsprozedur wird bewerkstelligt durch Sammeln von Informationen über die Oberfläche des Knochens. Die gesammelten Informationen sind die Position und die Orientierung der Knochenoberfläche an jedem Kontaktpunkt. Die Normale der digitalisierten Oberfläche wird unter Verwendung eines Mittelwertes der Orientierung des Aufzeichnungswerkzeugs **40** berechnet, der vom Erfassungssystem **42** gesammelt wird. Das Verarbeitungsmodul **48** empfängt die Orientierungs- und Positionsinformationen und verwendet einen Oberflächenmodellierungsalgorithmus, wie z. B. den Marching-Cubes-Algorithmus, um eine geglättete Oberfläche der Knochentopologie bereitzustellen. Es ist hervorzuheben, dass ein beliebiger Oberflächenmodellierungsalgorithmus, der im Stand der Technik bekannt ist, verwendet werden kann, um die Glättungsprozedur durchzuführen. Optional können auch die Punkte, an denen die ursprünglichen Daten gesammelt wurden, auf der geglätteten Oberfläche angezeigt werden.

[0039] Alternativ kann das Verarbeitungsmodul **48** eine dreidimensionale Rekonstruktion eines Knochens unter Verwendung der vom Aufzeichnungswerkzeug **40** gesammelten Positions- und Orientierungsdaten durchführen. Diese Rekonstruktion ist einer dreidimensionalen Rekonstruktion eines Knochens, die präoperativ unter Verwendung anderer Typen von Datensammelvorrichtungen, wie z. B. CT-Abtastungen und anderen Abtastungsvorrichtungen durchgeführt wird, ähnlich. In einer Ausführungsform wird die dreidimensionale Rekonstruktion unabhängig von irgendeinem Standard oder einer be-

kannten Form und Größe des Knochens durchgeführt. In einer abweichenden Ausführungsform steht eine Datenbank bekannter Modelle **50** dem Verarbeitungsmodul **48** zur Verfügung. In diesem Fall beruht die Rekonstruktion auf bekannten Modellen. Die aufgezeichneten Punkte werden unter Verwendung eines Ausgleichsalgorithmus an ein bekanntes Modell ähnlicher Größe und Form wie die untersuchte anatomische Struktur angeglichen. Die rekonstruierte Form wird anschließend auf der Ausgabevorrichtung **46** angezeigt.

[0040] Die angeglichen Punkte können auf der dreidimensionalen Form angezeigt werden. In einer weiteren Ausführungsform werden die bekannten Modelle einfach als Referenz für die dreidimensionale Rekonstruktion verwendet. Der Rekonstruktionsalgorithmus verwendet einfach die bekannten Modelle als Führung bei der Rekonstruktion eines vollständigen dreidimensionalen Modells.

[0041] Die Bekannte-Modelle-Datenbank **50** umfasst eine Vielzahl anatomischer Strukturen unterschiedlicher Größen und Formen. Das Verarbeitungsmodul **48** greift auf die Datenbank **50** zu und wählt ein Modell ähnlicher Größe und Form wie die anatomische Struktur, die der Operation unterzogen wird, aus. Die Datenbank **50** kann ferner Abschnitte oder Teile vollständiger anatomischer Strukturen umfassen. Zum Beispiel kann im Fall eines Oberschenkelknochens die Datenbank Oberschenkelknochenköpfe unterschiedlicher Größen und Formen, oder Oberschenkelknochenschäfte unterschiedlicher Größen und Formen umfassen. Diese Teile anatomischer Strukturen werden verwendet, um dreidimensionale Rekonstruktionen, geglättete Oberflächen oder Punktwolken, die einen Abschnitt einer anatomischen Struktur bilden, anzulegen. Der angelegte Abschnitt bietet ein vollständigeres visuelles Werkzeug für den Chirurgen während der Operation. Durch Begrenzen der Digitalisierungsmenge, die erforderlich ist, um eine getreue Darstellung der interessierenden Bereiche auf der anatomischen Struktur zu erhalten, wird intraoperative Zeit eingespart. Ein besseres visuelles Werkzeug wird für die Führung während der chirurgischen Navigation mit einem computergestützten chirurgischen Navigationssystem zur Verfügung gestellt.

[0042] Das oberbeschriebene System kann unabhängig verwendet werden, oder mit einem vollständigen computergestützten chirurgischen Navigationssystem. Sobald die intraoperative Aufzeichnung abgeschlossen ist und eine Darstellung der anatomischen Struktur auf der Ausgabevorrichtung angezeigt wird, kann eine Vielzahl chirurgischer Werkzeuge verfolgt und bezüglich der intraoperativen Darstellung angezeigt werden. Schnittführungen und Positionierungsblöcke können verfolgt und in Verbindung mit der angezeigten Darstellung verwendet werden.

[0043] Das Verfahren und das System, die oben beschrieben worden sind, können an Leichen oder Puppen verwendet werden, um ein computergestütztes Chirurgesystem zu testen. Das Testen einer neuen Ausrüstung, wie z. B. eines neuen Verfolgungssystems, eines Positionierungsblocks, einer Schnittführung oder dergleichen, kann ebenfalls in Verbindung mit dem Verfahren und dem System der vorliegenden Erfindung durchgeführt werden. Das Verfahren und das System, die beschrieben worden sind, können auch an Leichen oder Puppen als Lehrwerkzeug für Medizinstudenten verwendet werden. Situationen des realen Lebens können unter Verwendung des Systems simuliert werden, um verschiedene chirurgische Prozeduren zu üben, ohne einen Patienten Risiken auszusetzen.

[0044] Es ist klar, dass zahlreiche Modifikationen für Fachleute offensichtlich sind. Dementsprechend sollen die obige Beschreibung und die beigefügten Zeichnungen als die Erfindung erläuternd und nicht in einem einschränkenden Sinn aufgefasst werden. Ferner ist klar, dass irgendwelche Variationen, Anwendungen oder Anpassungen der Erfindung, die im Wesentlichen den Prinzipien der Erfindung folgen und solche Abweichungen von der vorliegenden Offenbarung enthalten, wie innerhalb bekannter gewöhnlicher Praxis innerhalb des Standes der Technik, auf dem sich die Erfindung bezieht, und wie sie auf die Wesentlichen Merkmale hier vor der Weiterführung angewendet werden können, abgedeckt sein sollen, wie im Umfang der beigefügten Ansprüche folgt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum intraoperativen Darstellen eines Näherungsmodells einer anatomischen Struktur, wobei das Verfahren umfasst:
Anbringen eines Aufzeichnungswerkzeugs (**40**), das an einem ersten Ende eine flache Scheibenoberfläche (**32, 34**) besitzt und ein ihm zugeordnetes Positionserfassungssystem (**30**) besitzt, an mehreren Orten an der anatomischen Struktur;
Erfassen von Eingangsdaten unter Verwendung des Aufzeichnungswerkzeugs (**40**), derart, dass ein Punkt und seine entsprechende Normale für jeden der Orte aufgezeichnet werden;
Verarbeiten der Eingangsdaten in ein Näherungsmodell der anatomischen Struktur; und
Anzeigen des Näherungsmodells auf einer Ausgabevorrichtung, wobei die anatomische Struktur kein Teil eines lebenden menschlichen oder tierischen Körpers ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verarbeiten das Verarbeiten der Eingangsdaten in eine Wolke von Punkten, die ein Mosaik bilden und einen Abschnitt der anatomischen Struktur darstellen, umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verarbeiten das Glätten über eine Oberfläche, die durch die Eingangsdaten dargestellt wird, umfasst, um eine geglättete Oberfläche eines Abschnitts der anatomischen Struktur anzuzeigen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das Verarbeiten das Vorsehen der mehreren Orte, an denen die Eingangsdaten erfasst wurden, auf der geglätteten Oberfläche umfasst.

5. Verfahren nach Anspruch 4, das das Wiederholen des Erfassens von Eingangsdaten nach dem Anzeigen umfasst, um das Modell der anatomischen Struktur einzustellen.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verarbeiten das Rekonstruieren eines dreidimensionalen Modells unter Verwendung der Eingangsdaten umfasst, um ein dreidimensionales Modell eines Abschnitts der anatomischen Struktur anzuzeigen.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verarbeiten das Rekonstruieren eines dreidimensionalen Modells unter Verwendung der Eingangsdaten und eines bekannten Modells der anatomischen Struktur umfasst, um ein dreidimensionales Modell der anatomischen Struktur anzuzeigen.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Verarbeiten das Auswählen eines bekannten Modells aus einer Datenbank (50) für bekannte Modelle, die mehrere bekannte Modelle mit unterschiedlichen Größen und Formen enthält, und das Ausführen eines Algorithmus, um eine am besten passende Anpassung der Eingangsdaten mit dem bekannten Modell zu bestimmen, umfasst.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das Verarbeiten das Vorsehen der am besten passenden Anpassung an dem bekannten Modell, derart, dass die am besten passende Anpassung auf der Ausgabevorrichtung (46) angezeigt wird, umfasst.

10. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Verarbeiten das Befestigen eines Abschnitts eines bekannten Modells der anatomischen Struktur an dem einen Abschnitt der anatomischen Struktur darstellenden Mosaik umfasst, wobei das bekannte Modell einen verbleibenden Abschnitt der anatomischen Struktur darstellt, so dass ein gesamtes Modell der anatomischen Struktur angezeigt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das Verarbeiten das Befestigen eines Abschnitts eines bekannten Modells der anatomischen Struktur an der geglätteten Oberfläche eines Abschnitts der anatomischen Struktur umfasst, wobei das bekannte Modell einen verbleibenden Abschnitt der anatomischen Struktur darstellt, so dass ein gesamtes Modell der

anatomischen Struktur angezeigt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Verarbeiten das Befestigen eines Abschnitts eines bekannten Modells der anatomischen Struktur an dem dreidimensionalen Modell eines Abschnitts der anatomischen Struktur umfasst, wobei das bekannte Modell einen verbleibenden Abschnitt der anatomischen Struktur darstellt, so dass ein gesamtes Modell der anatomischen Struktur angezeigt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Anbringen eines Aufzeichnungswerkzeugs (40) das Anbringen eines Aufzeichnungswerkzeugs mit einer flachen Scheibenoberfläche an einem zweiten Ende umfasst, wobei die flache Scheibenoberfläche an einem zweiten Ende andere Abmessungen als die flache Scheibenoberfläche an dem ersten Ende besitzt.

14. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Anbringen eines Aufzeichnungswerkzeugs (40) das Anbringen an einem zweiten Ende eines Aufzeichnungswerkzeugs, das ein intraoperatives Werkzeug besitzt, umfasst.

15. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Anbringen eines Aufzeichnungswerkzeugs das Auswählen des ersten oder des zweiten Endes für die Anbringung an der anatomischen Oberfläche umfasst.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 12, wobei das Erfassen von Eingangsdaten das Erfassen von Daten durch Drehen des Werkzeugs (40) umfasst, um dem Positionserfassungssystem (30) zu melden, dass ein Ort ausgewählt worden ist.

17. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Erfassen von Eingangsdaten das Erfassen von Daten durch Drücken eines Schalters umfasst, um dem Positionserfassungssystem (30) zu melden, dass ein Ort ausgewählt worden ist.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, wobei die anatomische Struktur ein Knochen eines Kadavers oder einer Attrappe ist.

19. Aufzeichnungswerkzeug (40) zum intraoperativen Erfassen von Daten, die ein Näherungsmodell einer anatomischen Struktur darstellen, und zum Erzeugen von Eingangsdaten, die einen Punkt und seine entsprechende Normale darstellen, um eine Oberflächentopologie der anatomischen Struktur zu bestimmen und um in Echtzeit das Näherungsmodell einer anatomischen Struktur zu rekonstruieren; wobei das Werkzeug (40) an einem ersten Ende einen angepassten Kopf (34) besitzt, derart, dass eine anatomische Oberfläche und eine Normale auf dieser anatomischen Oberfläche aufgezeichnet werden, wenn der Kopf an der anatomischen Struktur ange-

bracht wird, wobei der angepasste Kopf (34) eine flache Scheibe ist, wobei eine zweite flache Scheibe (32) an einem zweiten Ende des Werkzeugs (40) vorhanden ist, wobei die zweite flache Scheibe (32) einen Radius hat, der kleiner als jener der flachen Scheibe an dem ersten Ende (34) ist.

20. Aufzeichnungswerkzeug nach Anspruch 19, wobei die flache Scheibe (34) einen Flächeninhalt von 1 cm² hat.

21. Aufzeichnungswerkzeug nach Anspruch 19, wobei ein Drehen des Werkzeugs (40) bewirkt, dass Daten erfasst werden.

22. System zum Anzeigen eines Näherungsmodells einer Oberfläche einer anatomischen Struktur, wobei das System umfasst:

ein Aufzeichnungswerkzeug zum intraoperativen Erfassen von Daten, die ein Näherungsmodell einer anatomischen Struktur darstellen, und zum Erzeugen von Eingangsdaten, die einen Punkt und seine entsprechende Normale darstellen, um eine Oberflächentopologie der anatomischen Struktur zu bestimmen und um in Echtzeit das Näherungsmodell einer anatomischen Oberfläche zu rekonstruieren; wobei das Werkzeug (40) an einem ersten Ende einen angepassten Kopf (34) besitzt, derart, dass eine anatomische Oberfläche und eine Normale auf dieser anatomischen Oberfläche aufgezeichnet werden, wenn der Kopf an der anatomischen Struktur angebracht wird, und wobei der angepasste Kopf (34) eine flache Scheibe ist,

ein Positionserfassungssystem (30), das dem Aufzeichnungswerkzeug (40) zugeordnet ist, um Eingangsdaten zu erfassen, die mehrere Orte auf der Oberfläche einer anatomischen Struktur darstellen, so dass eine Position und eine Orientierung des Aufzeichnungswerkzeugs (40) an jedem der mehreren Orte bestimmt werden;

ein Speichermodul (44) zum Empfangen und Speichern der Eingangsdaten von dem Positionserfassungssystem (30);

ein Verarbeitungsmodul (48) zum Verarbeiten der Eingangsdaten in ein Näherungsmodell der anatomischen Struktur, wobei die entsprechende Normale berücksichtigt wird, um eine Oberflächentopologie der anatomischen Struktur zu bestimmen und um in Echtzeit eine intraoperative Darstellung der anatomischen Struktur zu rekonstruieren; und eine Ausgabevorrichtung (46) zum Anzeigen des Näherungsmodells der anatomischen Struktur.

23. System nach Anspruch 22, wobei das Verarbeitungsmodul die Eingangsdaten in eine Wolke von Punkten verarbeitet, die ein Mosaik bilden und einen Abschnitt der anatomischen Struktur darstellen.

24. System nach Anspruch 22, wobei das Verarbeitungsmodul einen Abschnitt der anatomischen

Struktur über eine durch die Eingangsdaten dargestellte Oberfläche in eine geglättete Oberfläche glättet.

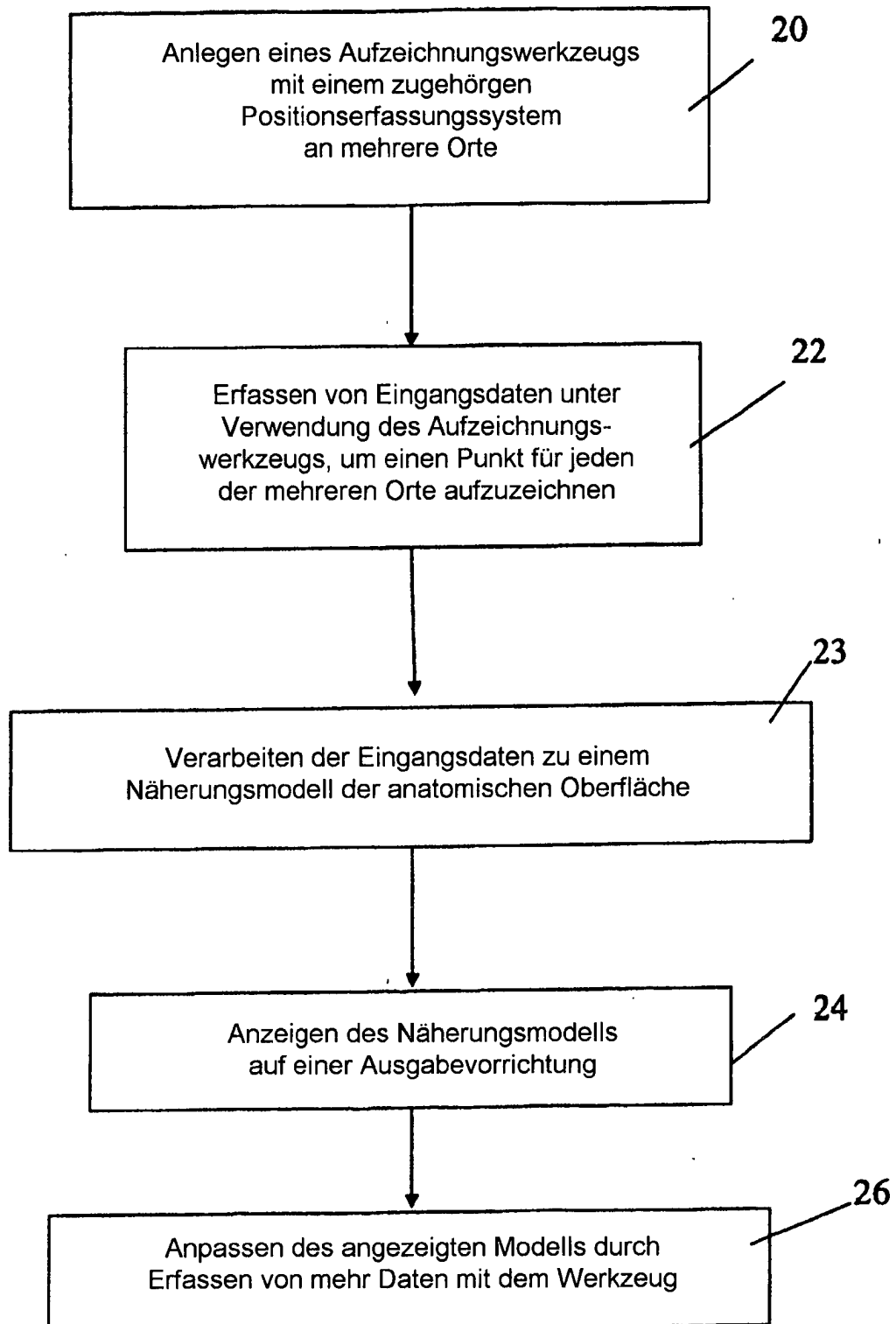
25. System nach Anspruch 24, wobei das Verarbeitungsmodul auf der Oberseite der geglätteten Oberfläche die Orte auf der anatomischen Struktur, wo Daten erfasst wurden, anzeigt.

26. System nach Anspruch 22, wobei das Verarbeitungsmodul ein dreidimensionales Modell unter Verwendung der Eingangsdaten in ein dreidimensionales Modell eines Abschnitts der anatomischen Struktur rekonstruiert.

27. System nach einem der Ansprüche 23 bis 26, das eine Datenbank (50) für bekannte Modelle mit unterschiedlichen Abmessungen umfasst, wobei das Verarbeitungsmodul (48) einen Abschnitt der bekannten Modelle an einem Abschnitt der anatomischen Struktur befestigt, um ein gesamtes Modell anzuzeigen.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

**Fig. 1**

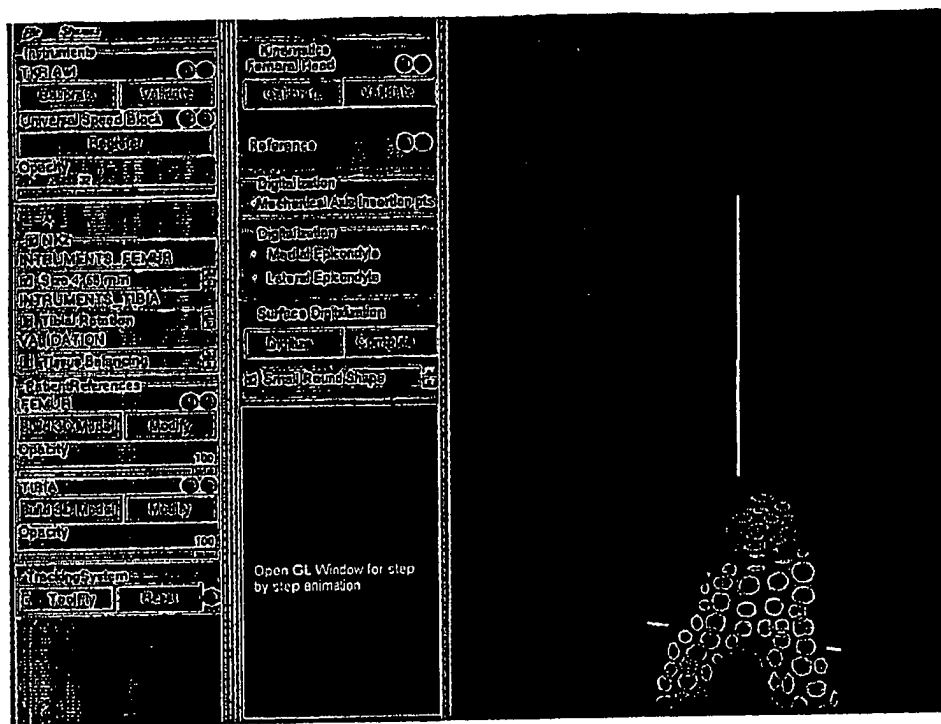


Fig. 2

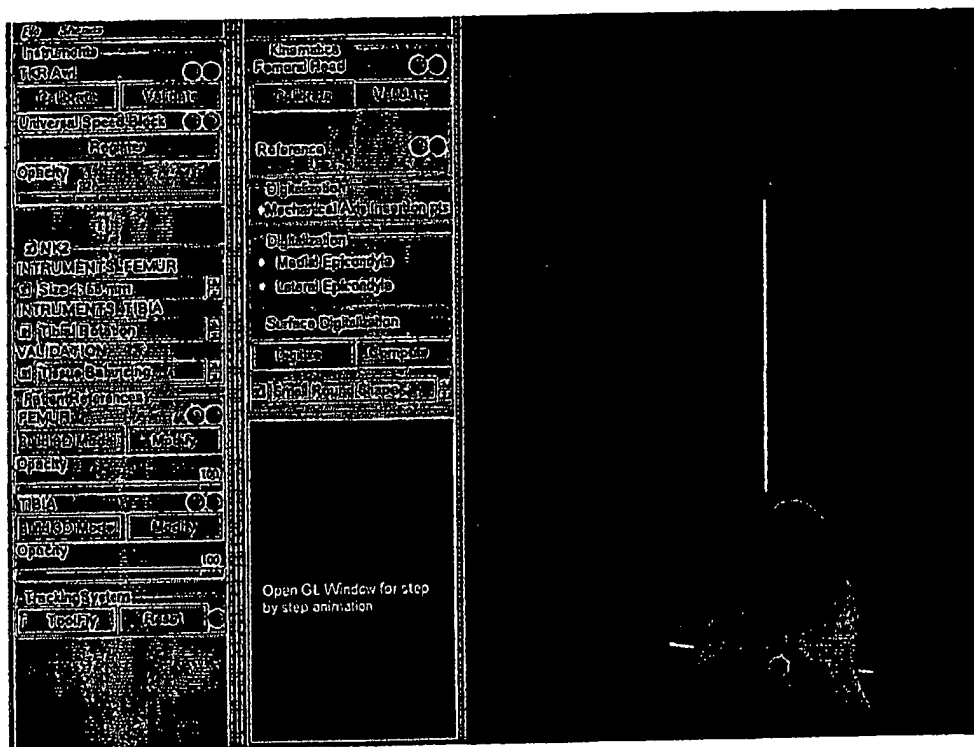


Fig. 3

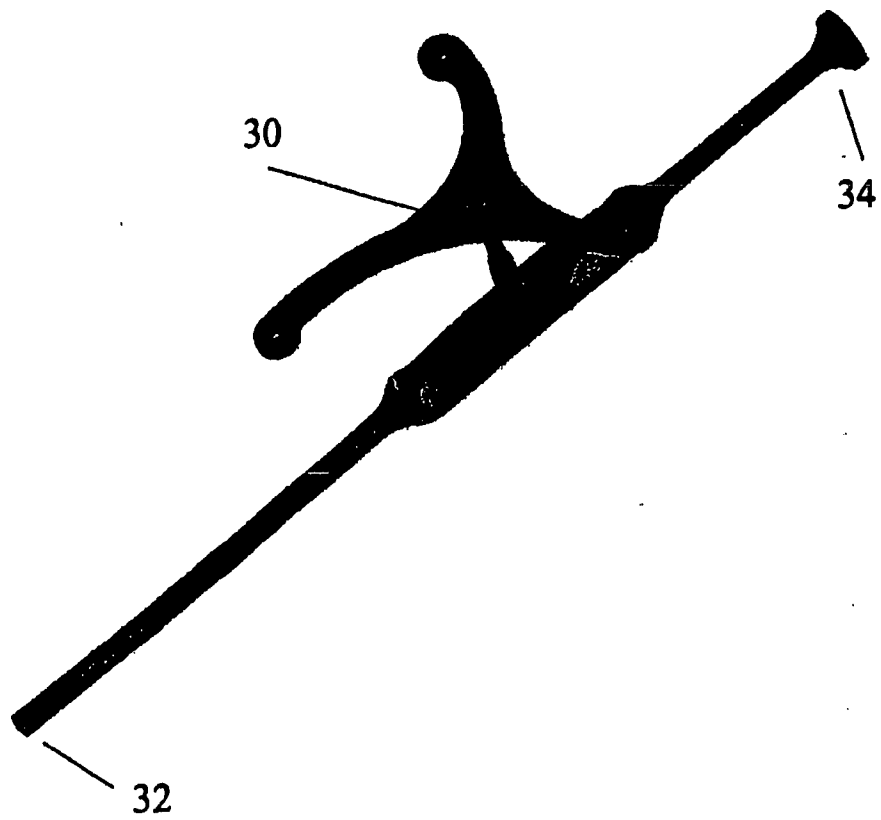


Fig. 4

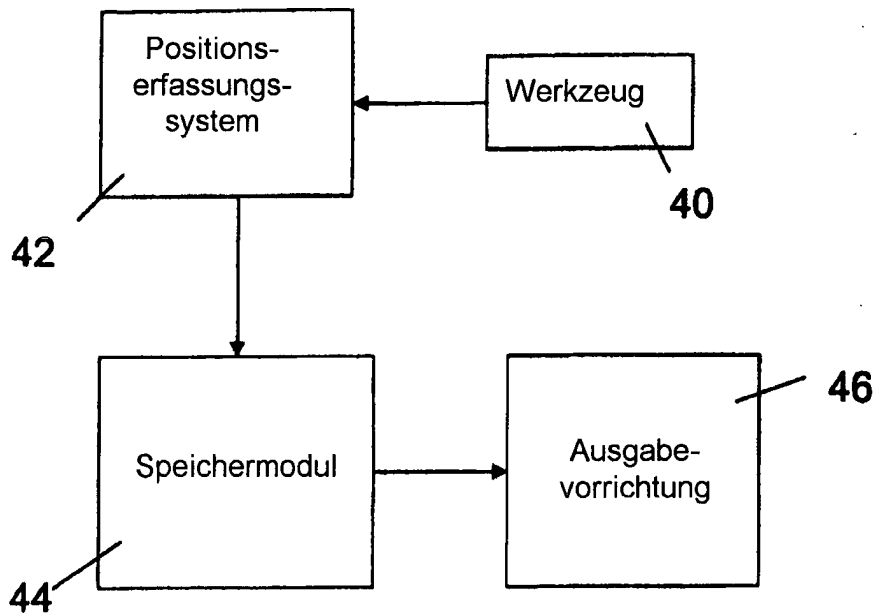


Fig. 5

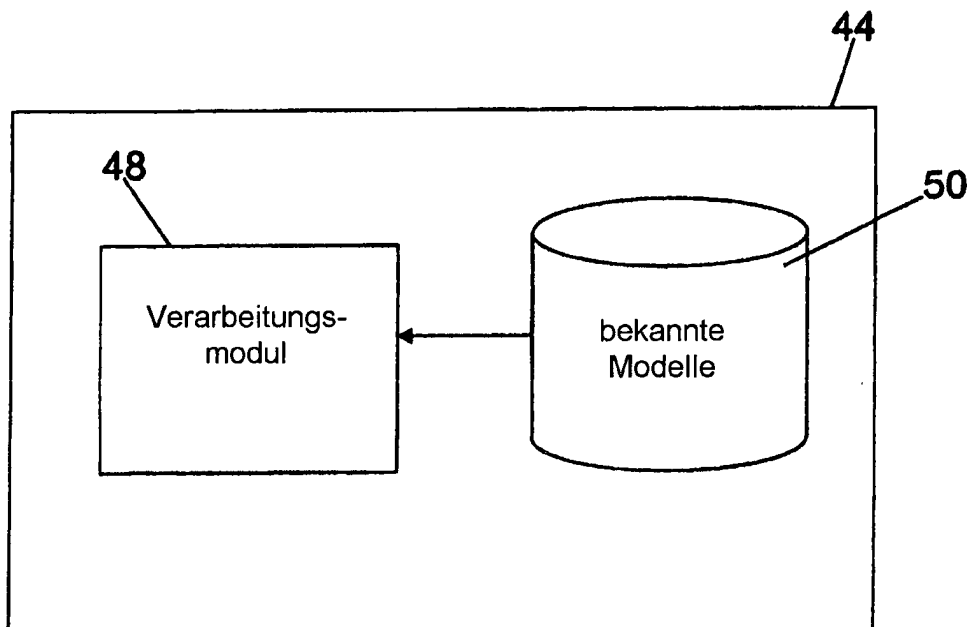


Fig. 6