

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 2009/2007
(22) Anmeldetag: 12.12.2007
(45) Veröffentlicht am: 15.08.2011

(51) Int. Cl. : **G01B 11/24** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
GB 2292605A WO 2000/066973A1
EP 1724549A2 EP 1211481A2

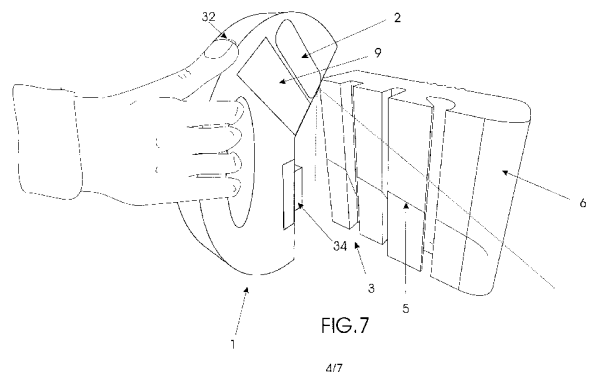
(73) Patentinhaber:
NEXTSENSE MESS- UND PRÜFSYSTEME
GMBH
A-8020 GRAZ (AT)

(72) Erfinder:
NIEL ALBERT DIPL.ING. DR.
GRAZ (AT)
GASSER CLEMENS DIPL.ING.
GRAZ (AT)
DEUTSCHL EDWIN DIPL.ING.
GRAZ (AT)
KAUFMANN PETER DIPL.ING.
GRAZ (AT)

(54) VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ERFASSUNG VON KÖRPERMASSDATEN UND KONTURDATEN

(57) Es wird ein Verfahren zur Erfassung und Auswertung von selektiven Oberflächendaten von Festkörpern und eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens vorgestellt. Die Vorrichtung ermöglicht rasches berührungsloses, mobiles und handgeführtes Vermessen von Körpermaßdaten oder 3D-Rekonstruktionen.

Mittelbare idente Punkte und flächeninkrementorthogonale Vektoren dienen dabei einer genauen Zusammenfügung vieler sequenziell erfasster selektiver Oberflächendaten auf einer optischen Sensorfläche. Dazu werden unterschiedliche Positionen und Orientierungen der Sensorfläche um das Messobjekt in hinreichender Genauigkeit ermittelt. Eine Kombination aus der optischen Mittelung mit einer groben Genauigkeit der Orientierungs- und Positionsdaten der Sensorflächen ist Grundlage einer mobilen Vorrichtung zur sehr präzisen Körperoberflächen-Datenerfassung aufgrund wechselseitiger Nachteile kompensation. Dazu dienen ein Inertialsensor, welcher über Drehwinkeländerungs- und Beschleunigungs-Sensoren die relative Lageänderung hinreichend genau erfasst, sowie ein Iterations-Algorithmus zur Restfehler-Minimierung.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 9.

[0003] Optische Konturerfassungsgeräte nach dem Schattenwurfprinzip oder dem Lichtschnittverfahren nutzen eine Triangulation von Körperkonturpunkten oder -linien. Beim Laser-Lichtschnittverfahren beispielsweise dient ein linienförmiges Laserlicht-Strahlenband zur Beleuchtung einer ausgewählten Konturlinie eines Messkörpers in der Lichtschnittebene und eine lichtempfindliche Sensorfläche (vorzugsweise ein CMOS- oder CCD-Bildsensor mit n mal m Bildpunkten) zur Erfassung des diffusen Reflexionslichtes von einer zur Strahlenachse des Laserlichtes im Triangulationswinkel versetzten Position. Die trigonometrischen Beziehungen der Winkel der Messdreiecke (Lichtquelle(n), Reflexionspunkte, Sensor) und die Position und Orientierung von Lichtquelle(n) und Sensorfläche zueinander erlaubt eine dreidimensionale Berechnung der erfassten Koordinaten. So wird das Lichtband, das auf eine ebene Fläche fällt, als Gerade auf der Sensorfläche abgebildet, Krümmungen oder Wölbungen als gebogene Kurven, Knicke als Winkel. Zur Erfassung unterschiedlicher Lichtschnitte werden mehrere Lichtbänder sowohl parallel als auch normal dazu angeordnet. Nahezu alle bekannten Verfahren erfassen somit mittels eines kalibrierten Systems durch Aufhellung oder Abdunklung einzelner Punkte oder Linien einer Körperoberfläche die zugehörigen Koordinatenpunkte in x -, y - und z -Richtung in Bezug auf ein kartesisches Koordinatensystem unter Berücksichtigung der optischen Verzerrung durch die Zentralprojektion. Gemeinsam ist diesen bekannten Verfahren der hohe Aufwand für die Ausrichtung, Kalibrierung und Positionierung des Messobjektes gegenüber der Messvorrichtung. Viele Messpunkte müssen eindeutig erfasst werden, um ein gesamtes Bild des Objektes zu erhalten. Daher werden oft nur einzelne Gitterpunkte erfasst, und zwischen diesen im (Rechen-)Modell interpoliert. Die Genauigkeit der dreidimensionalen Erfassung ist folglich abhängig von der Zahl der eindeutig erfassten Messpunkte, wobei jeder Messpunkt mit der Genauigkeit des Messsystems erfasst ist. Um gute Ergebnisse zu erzielen, wird die Erfassungseinrichtung (3D-Scanner) auf Führungseinrichtungen um das Messobjekt mit eindeutig zugeordneten Koordinaten um einen genau definierten Messraum positioniert. Eine handgeführte und vage positionierbare Vorrichtung für eine dreidimensionale Messung ist gemäß diesem Stand der Technik nicht möglich, da die resultierende Positionsgenauigkeit nicht ausreicht, hinreichende Messergebnisse zu erzielen. Die Unkenntnis über die exakten Abstände des Messobjektes zum Messgerät, die nicht erfasste Orientierung vom Messobjekt zum Messgerät sowie die Schwierigkeit mehrere diskrete Messungen um das Messobjekt herum richtig, exakt einander in einem gemeinsamen Raum zuzuordnen, erlaubte keine brauchbaren diesbezüglichen Messgeräte. In den letzten zehn Jahren wurden einige Dokumente veröffentlicht, welche 3D-Erfassung auch über tragbare Geräte ermöglichen sollen:

[0004] Aus der US 6,542,249 B1 ist eine Vorrichtung und ein Verfahren zur berührungslosen Vermessung von Oberflächenformen bekannt, welche mittels Lichtlinienprojektor, Kamera und Computer über das Lichtschnittverfahren die Form ermittelt. Hier werden mindestens drei Linien projiziert und über eine Kamera erfasst; eine genaue Kalibrierung erlaubt die Erfassung des Abstandes des Messobjektes zur Messvorrichtung sowie der Form der Oberfläche in den Lichtschnittlinien. Dabei wird eine Vielzahl von Messpunkten zur Rekonstruktion mithilfe von mathematischen Beziehungen erfasst. Um die gesamte Oberfläche zu erhalten, werden Überlappungen aus unterschiedlichen Erfassungslagen verwendet, die gegeneinander translatorisch und/oder rotatorisch verschoben sind, wodurch eine Rekonstruktion der Gesamtoberfläche auch ohne zusätzliche Positionsmessmittel möglich sein soll. Eine Weiterverarbeitung der Daten erlaubt es, gewisse Formeigenschaften zu ermitteln. Nachteilig hierbei ist der erforderliche hohe Aufwand für die Erfassung einer dreidimensionalen Form, auch wenn nur wenige Objektdaten gesucht werden. Zudem muss die Überlappung so erfolgen, dass Mehrdeutigkeiten aufgrund ähnlicher Oberflächengestaltung ausgeschlossen werden können, bzw. muss der Messablauf, also die Reihenfolge der Messungen um das Messobjekt protokolliert werden, um Fehler

zu vermeiden. Eine automatisierte Positions- und Orientierungsausrichtung ist nur durch hohen Rechenaufwand möglich.

[0005] In der US 2003/0160974 sind eine Vorrichtung und eine Methode vorgestellt, um speziell den Durchmesser von zylindrischen Objekten mithilfe des Lichtschnittverfahrens zu erfassen. Dabei wird die Kenntnis genutzt, dass die erfasste Lichtschnittprojektionsgrenze auf einen Zylinder tangential zu den Endpunkten der erfassten Bildkurve verläuft. Nachteilig an dieser Methode ist die Einschränkung auf rein zylindrische Objekte und nur eine Kenngröße (Radius).

[0006] Die GB 2 328 280 offenbart einen Scanner zur Erfassung von Größe, Form und anderen 3D-Oberflächen-Eigenschaften. Hier werden aus verschiedenen Betrachtungspositionen von Kamerabildern korrespondierende Punkte ermittelt und draus die 3D-Zuordnung dieser Punkte im Raum errechnet. Die Parallaxe erlaubt es, eine Tiefeninformation neben den Höhen- und Breitendaten aus den Kamerabildern zu ermitteln. Neben Projektion von Mustern ist auch der Einsatz eines Inertialsensors vorgesehen, um die Zuordnung identischer Punkte zu erleichtern.

[0007] Die WO 2000/066973 A1 offenbart ein Verfahren zur optischen Formerfassung mindestens eines dreidimensionalen Gegenstandes. Zwar erweist sich dieses Verfahren insofern als vorteilhaft, als es das sogenannte Korrespondenzproblem und die damit verbundene eindeutige Zuordnung von erfassten Bildpunkten zueinander bzw. deren Vereinigung zu einem vermessenen Gegenstand löst, jedoch ergibt sich der Nachteil, die Stellung(en) des Gegenstandes, der Kamera und der Lichtquelle(n) während der Messung miterfassen zu müssen, was einen komplexen Messaufbau und eine aufwendige Kalibrierung desselben zur Folge hat.

[0008] Die EP 1 724 549 A2 beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung der 3D-Koordinaten der Oberfläche eines Objekts, bei dem die 3D-Koordinaten einer Teiloberfläche des Objektes durch ein 3D-Meßgerät bestimmt werden, das einen oder mehrere Detektoren aufweist und dessen Position durch ein Trackingsystem bestimmt wird. Dies ermöglicht die Vermessung von sehr großen Objekten, bedingt aber gleichzeitig das Trackingsystem, um die auftretenden Messfehler möglichst gering zu halten. Zusätzlich basiert das offenbarte Verfahren auf einem Zusammensetzen von Teilflächen und daraus resultierend einer erheblich größeren Datenmenge, als wenn nur Teillinien oder Teilkurven verarbeitet würden.

[0009] Die EP 1 211 481 A2 zeigt eine Prüfvorrichtung zum Erkennen der Geometrie und/oder Lage von Bauteilen mit einer Messwertverarbeitungseinheit, der von einer tragbaren Messwertfassungseinheit Messdaten des Bauteils zuführbar sind und welche diese Messdaten mit Bezugsdaten zum Gewinn von Prüfdaten vergleicht und an eine am Körper einer Prüfperson anbringbare Sichteinheit zur Kontrolle durch die Prüfperson einspielt. Derartige Prüfvorrichtungen sind hervorragend als Hilfestellung für Montage- oder Reparaturteams geeignet, jedoch benötigen diese einen idealen Datensatz, um Abweichungen der lokal vermessenen Bauteile von einem idealen Bauteil zu bestimmen. Daher baut dieses Dokument darauf auf, dass bereits ein entsprechender qualitativ hochwertiger Datensatz im Vorfeld vermessen wurde.

[0010] Des Weiteren ist die GB 2 292 605 zu erwähnen. Ein 3D-Oberflächen-Scanner gemäß diesem Dokument erlaubt ebenfalls die Erfassung von Lichtschnitten über eine optische Sensorfläche, wobei eine Lichtstrahlebene mittels rotierenden Spiegels über eine Körperoberfläche gelenkt wird. Dadurch wird eine Vielzahl von Lichtschnitten erzeugt, welche die der Sensorfläche zugewandte Seite des Messkörpers mathematisch als 3D-Modell erfassen. Ein Inertialsensor-System erfasst die Orientierung und Position des Scanners gegenüber dem Messobjekt, dadurch kann dieses von allen Seiten erfasst, redundante Daten eliminiert und der Körper allseitig aus einer Vielzahl von Lichtschnitten mathematisch rekonstruiert werden. Bei der mathematischen Modellierung der Messdaten werden Scans von zwei benachbarten Oberflächenbereichen aneinander angenähert, indem eine Summe der Distanzen von Normalvektoren von einem Oberflächenbereich zum anderen minimiert wird, was zu relativ ungenauen Ergebnissen führt. Nachteilig ist zudem der erhebliche Aufwand zur Erfassung des gesamten Körpers bzw. seiner Oberfläche, auch wenn nur einige wenige Körpereigenschaften gesucht werden. Durch den rotierenden Spiegel ergibt sich zudem das Problem der Verwacklung während der Bilddatenerfassung.

[0011] Die AT 501 507 A1 zeigt dagegen eine Vorrichtung und ein Verfahren zur mobilen berührungslosen Erfassung sowie Ermittlung und Auswertung von speziellen Körperkonturen. Dabei wird mithilfe von mindestens zwei Strahlenflächen und einem Strahlendetektor, mit bekannter Raumorientierung der Strahlenflächen und des Detektors zueinander, aus erfassten Schnittliniendaten die Kontur um eine charakterisierende Vorzugsschnittfläche errechnet. Hierfür wird eine bekannte geometrische Gesetzmäßigkeit in der Oberfläche des Körpers in einer Raumrichtung berücksichtigt.

[0012] Nachteilig ist in letzterem Verfahren, dass eine Zusammensetzung mehrerer Messungen an der Objektvorderseite und der Objektrückseite nicht immer eindeutig möglich ist, da die Orientierung des Messgerätes gegenüber dem Messobjekt nicht miterfasst ist. Mehrdeutigkeiten im Oberflächenverlauf liefern mehrere Zuordnungsmöglichkeiten auf das Messobjekt. Die Form muss in einer Raumrichtung eine bekannte geometrische Gesetzmäßigkeit aufweisen. Nur eine Vorzugsschnittfläche ist erfassbar.

[0013] Basierend auf diesem Stand der Technik ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, mit welcher geometrische Größen wie Profilformen, Spaltbreiten, Versatz oder dreidimensionale Körperformen auf einfache und sichere Weise verglichen werden können, ohne dazu jeden Körperpunkt aufnehmen zu müssen. Teilkonturen oder vollständige Umlaufkonturen sollen eindeutig und mit hoher Genauigkeit erfasst werden können. Die Vorrichtung soll handgeführt mit niedrigem Positionieraufwand durch den Benutzer rasche, aber genaue Messungen erlauben. Dadurch sollen erstmals komplizierte Vermessungen von Messobjekten auch im verbauten Zustand vereinfacht werden. Erfasste Daten sollen gespeichert und weiterer EDV zuführbar gemacht werden.

[0014] Zur Lösung der Aufgabenstellung wird ein Verfahren zur mobilen optischen Erfassung von Oberflächendaten gemäß Anspruch 1 vorgeschlagen. Diese Daten werden aus der Gesamtheit aller fernoptisch erfassbaren Oberflächenpunkte von einem Festkörper oder von mehreren Festkörpern ausgewählt. Diese selektiven Daten gehören Raumkurven oder Teilen davon an, können folglich punktuell oder linienartig gebildet sein. Durch Aufnahme und Verarbeitung mehrerer solcher Raumkurven(-teile) rund um einen zu vermessenden Körper und deren lagerichtigen Kombination kann ein Auszug an Oberflächendaten gewonnen werden. Dieser Auszug sollte geeignet sein, den Körper zu charakterisieren, nachzubilden oder mit bestimmten Solldaten zu vergleichen.

[0015] Zur Aufnahme der Oberflächendaten dient eine lichtempfindliche Sensorfläche, auf welcher sequenziell zweidimensionale Abbilder gebildet werden. Zweckmäßig geschieht dies durch Zentralprojektion. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird dabei für jeden Punkt oder einige Punkte dieser Raumkurven ein Vektor bestimmt, dessen Orientierung orthogonal auf das um den Punkt liegende Flächeninkrement ist.

[0016] Zusätzlich wird die Position und die Orientierung der Sensorfläche gegenüber dem Festkörper zum Zeitpunkt der Erfassung jedes zweidimensionalen Abbilds in grober Genauigkeit ermittelt. Dies erlaubt das grobe Zusammenfügen der zweidimensionalen Abbilder.

[0017] Aufgrund von nur mit eingeschränkter Genauigkeit vorliegenden Orientierungs- und Positionsangaben erfolgt in einem weiteren Schritt eine iterative Annäherung von identischen Kurvenpunkten aus unterschiedlichen Erfassungspositionen und/oder -Orientierungen. Diese identischen Kurvenpunkte werden aus den nächstliegenden Punkten der grob positionierten Daten oder aus eindeutigen Kurvenmerkmalen identifiziert. Dabei werden die fehlerbedingten Abstände eigentlich identischer Punktdaten minimiert. Ebenso werden fehlerbedingter Verdrehungen der diesen Punktdaten zugehörigen Normalvektoren durch eine Orientierungskorrektur parallelisiert. Alle zugehörigen Daten (aus gleicher Erfassungslage) werden mitmanipuliert, sodass die zugehörige Oberflächenkurve oder Punktverteilung in eine geeignete Lage verschoben und gedreht wird.

[0018] Anhand der ermittelten Korrekturdaten wird in der Folge die Genauigkeit der relativen Positions- und Orientierungsdaten der Sensorfläche für nachfolgende Erfassungen erhöht. Das

Feedback der optisch erfolgten Fehlerkorrektur kann zur Verbesserung der Positions- und Orientierungsabschätzung dienen. Dies ist ein zentraler Aspekt der Innovation, die wechselseitige Optimierung von Standortbestimmung und Kurvenlagezuordnung erlaubt die erforderliche Messgenauigkeit für Produktion oder Analyse von Produkten zu erreichen und zu überbieten. Die Positioniergenauigkeit identischer Punkte hängt von der Auflösung der Sensorfläche und der Berechnungsgenauigkeit ab.

[0019] Zur Vermeidung von Mehrdeutigkeiten in der Auslegung möglicher identischer Kurvenpunkte ist es zweckmäßig, für das Verfahren Oberflächen zuzulassen, die im Erfassungsbereich von mehreren erfassten sequenziellen Aufnahmen derart gestaltet ist, dass die zweidimensionalen Abbilder jeder erfassten Kurve geeignet sind, die relative räumliche Position und Orientierung der Sensorfläche gegenüber dem Körper eindeutig zu bestimmen. Dazu dürfen im Umkreis von Kurvenmerkmalen keine weiteren verwechselbar gleichen Merkmale vorliegen, wobei der Radius dieses Umkreises durch die Genauigkeit der groben Orientierungs- und Positionsabschätzung gegeben ist. Bei Streckkörpern oder drehsymmetrischen Körpern oder zumindest Abschnitten davon reduzieren sich die Freiheitsgrade. Die Form solcher konstanter Querschnitte ist dann geeignet, die relative Position und Orientierung der Sensorfläche hinreichend genau zu bestimmen, wenn deren Kontur die Eindeutigkeitsbedingung für die Zuordenbarkeit von Teilstücken erfüllt.

[0020] Zur Bestimmung der relativen Änderung der Position und Orientierung der Sensorfläche dient zweckmäßigerweise die Messung seiner örtlichen Beschleunigungen und der Drehraten. Beispielsweise liefern drei zueinander normale Beschleunigungen durch zweimalige Integration über die Zeit den zurückgelegten Weg. Randbedingungen sind, dass Anfangsort und die Geschwindigkeit bekannt sind.

[0021] Die Winkelgeschwindigkeit liefert über die Zeit integriert eine Winkellageänderung bezogen auf einen Ausgangswinkel.

[0022] Sind im Vorhinein bestimmte Regelmäßigkeiten des Messobjektes bekannt, so können diese genutzt werden, um die Freiheitsgrade der Positions- oder Orientierungsdaten einzuschränken.

[0023] Es ist zweckmäßig, redundante Daten zu eliminieren oder durch ihre Mittelung Fehler zu minimieren, um Speicherbedarf und Rechenzeit zu verringern. So ist beispielsweise bei zylinderförmigen Objekten die Lage des Sensors entlang der Zylinderachse irrelevant. Die Richtung der Zylinderachse kann als jene Richtung bestimmt werden, die normal auf alle vom Sensor ermittelten Normalvektoren steht. Die Messdaten können sodann in Richtung dieser Achse in eine beliebige normal zu dieser Achse liegende Ebene verschoben werden. Die in dieser Ebene entstandene Kurve dient als Erzeugende für die Rekonstruktion des Zylinders.

[0024] Bei rotationssymmetrischen Objekten ist beispielsweise der Drehwinkel des Sensors um die Rotationsachse irrelevant. Die Drehachse kann dabei als jene Gerade ermittelt werden, die alle vom Sensor ermittelten Normalvektoren schneidet. Die Messdaten können sodann um diese Drehachse in eine beliebige von dieser Drehachse begrenzte Halbebene rotiert werden.

[0025] Die in dieser Ebene entstandene Kurve dient als Erzeugende für die Rekonstruktion des Rotationskörpers.

[0026] Wird beispielsweise ein Drehzylinder erfasst, so weist dieser in einer Richtung Körperabschnitte mit kreisförmigem Querschnitt auf. Beliebige Punkte auf der Oberfläche können um die Drehachse mit dem Zylinderradius in eine gemeinsame Ebene gedreht werden, die aus diesen Punkten gebildete Kurve ist dann eine Gerade parallel zur Zylinderachse.

[0027] Verzerrungen der zweidimensionalen Abbilder aufgrund der Abbildungsmethode werden durch Kalibrierung erfasst und berücksichtigt. Dazu dienen Referenzpunkte- oder -linien in bekannter Position und Orientierung zur lichtempfindlichen Sensorfläche.

[0028] Charakteristische, identifizierbare Oberflächenmerkmale können vorteilhaft aus den erfassten Bilddaten gefiltert werden. Zur Bestimmung der Normalvektoren können die perspek-

tivischen Verzerrungen oder die Änderungen dieser Verzerrungen bei Anvisierung aus unterschiedlichen Orten und/oder Winkellagen einer auf der Körperoberfläche identifizierbaren Kurve oder von Punktabständen benachbarter Punkte verwendet werden.

[0029] Als erkennbare charakteristische Oberflächenmerkmale eignen sich besonders

[0030] i. zumindest Teile von Körperaußenkonturen,

[0031] ii. farblich unterschiedliche Oberflächenpunkte, oder -linien,

[0032] iii. farblich unterschiedliche Flächenbereiche oder Flächenbereichsübergänge

[0033] oder Kombinationen dieser Merkmale, welche zur Weiterverarbeitung aus den Daten gefiltert werden.

[0034] Daneben können die charakteristischen Oberflächenmerkmale aus Reflexions-Lichtintensitätsübergängen sowie Eigenschatten Abbilder von Oberflächenkurven erzeugt werden, wobei die lokale Lichtintensität aus der Form und Ausrichtung der Körperoberflächenbereiche oder aufgrund unterschiedlicher Oberflächenrauheit gegenüber einer vorzugsweise nicht frontal gerichteten Beleuchtungsquelle resultiert.

[0035] Neben passiv erfassbaren Körperlinien kann es vorteilhaft sein, Punkte oder Kurvenformen auf die Körperoberfläche zu projizieren. Somit werden diese Projektionen von Licht- oder Schattenkurven durch die getroffene Körperoberfläche verzerrt. Die räumliche Position mindestens dreier benachbarter Oberflächenpunkte lässt sich durch Triangulation ermitteln. Dies erlaubt eine sehr genaue Ermittlung der Orientierung des zugehörigen Flächennormalvektors.

[0036] Zur Durchführung des Verfahrens ist es zweckmäßig, eine Vorrichtung gemäß Anspruch 9 vorzusehen. Die Vorrichtung kann dazu ausgebildet sein, zweidimensionale Abbilder mindestens eines markierten oder markant vorliegenden Kurvenstückes oder punktuellen Teilen davon von Festkörperoberflächen zu filtern. Die Vorrichtung weist eine Bildaufnahmeeinrichtung mit einer lichtempfindlichen Sensorfläche, Datenverarbeitungseinrichtungen und Datenspeicher auf. Markante Kurvenstücke können z. B. bestimmte nicht dem Verschleiß unterliegende Rillen, Winkel oder Gravuren sein. Drei eindeutige, z. B. kreisförmige, Aufkleber an drei vordefinierten Stellen können beispielsweise die Eckpunkte eines gedachten Dreieckes markieren.

[0037] Eine solche Filtervorrichtung ist zweckmäßigerweise eine die Öffnungszeit begrenzende Verschlusseinrichtung, wodurch nur zu bestimmten Zeiten Informationen in Form von Licht auf die Sensorfläche gelangt. Dabei kann die Länge der Verschlusszeit in Verbindung mit der Empfindlichkeit der Sensorfläche geeignet sein, nur die hellsten Körperpunkte zu erfassen. Auch können optische Filter zwischen Messobjekt und der Bildaufnahmeeinrichtung angeordnet sein. So können vorzugsweise Farb- oder Polarisationsfilter, Tageslichtsperrfilter oder Graufilter die Datenmenge auf der Bildaufnahmeeinrichtung bildinhaltlich reduzieren. Farbliche Unterschiede, Helligkeitsunterschiede und Reflexionseigenschaften sind entweder auf der Oberfläche vorhanden oder werden durch Projektion bewirkt und durch diese Filter getrennt.

[0038] Eine Differenzbildungseinrichtung oder eine Differentiationseinrichtung in der Bildaufnahmeeinrichtung oder in der Datenverarbeitungsvorrichtung kann vorgesehen sein, um gleichbleibende Bildinhalte sequenzieller Bildverarbeitungszeitpunkte wegzufiltern und nur die inhaltlichen Änderungen weiterer Verarbeitung zuzuführen, wobei aufgrund der Trägheit der Sensorelemente der Sensorfläche und deren Bewegung gegenüber dem Messobjekt auch eine Mehrfachbelichtung erfolgen kann. Durch Ableitung der Bildinhalte können flächig gleichbleibende Inhalte auf deren Konturen reduziert werden.

[0039] Neben der, durch den Benutzer aufgrund manueller Führung verursachten Änderung der Lage der Sensorfläche gegenüber dem Messobjekt und zugleich vorhandener Beleuchtungskörper kann eine zusätzliche Beleuchtungseinrichtung vorgesehen sein. Diese kann gegenüber dem Messobjekt und der Sensorfläche in eine andere Position gebracht werden, was den Bildinformationsgehalt aufgrund anderer Reflexionswinkel und Schattenbildungen verändert. Die Differenzbildungseinrichtung zeigt dann nur diese Änderungen. Auch kann die Intensität des zusätzlichen Beleuchtungskörpers geändert werden. Zum Beispiel einmal eingeschaltet und

einmal ausgeschaltet entstehen zwei Bilder. Die Differenz dieser Bilder zeigt die Änderungen. Neben Intensität (Helligkeit) und Lage kann auch die Farbe veränderbar sein, um gezielte Oberflächenfarben zu betonen. Die Strahlcharakteristik kann geeignet sein, nur bestimmte Teile der Oberfläche zu betonen.

[0040] Für die Eingabe von Positions- und Orientierungsdaten der Sensorfläche gegenüber Messobjekten kann eine Schnittstelle vorgesehen sein.

[0041] Für die Verarbeitung der durch die Sensorfläche erfassten Daten ist ein Algorithmus vorgesehen, der

[0042] i) zumindest in identifizierbaren identischen Kurvenpunkten mindestens zweier Kurven aus unterschiedlichen Messzeitpunkten und unterschiedlichen hinreichend groben Orientierungs- und Positionslagen anhand der jeweiligen Kurvenverzerrungen Vektoren bestimmt, deren Orientierung orthogonal auf die um die Punkte zugehörigen Flächeninkremente ist, und

[0043] ii) der durch iterative Minimierung von Abständen und Vektorwinkellagefehler identischer Kurvenpunkte unterschiedlicher erfasster Kurven Translations- und Rotationskorrekturen für die Positions- und Orientierungsdaten bildet.

[0044] Eine weitere Schnittstelle ist dazu vorgesehen, die durch den Algorithmus korrigierten Positions- und Orientierungsdaten oder die ermittelten Korrekturdaten auszugeben. Systematische Eingabefehler in den Positions- und Orientierungsdaten werden bei nachfolgenden Messzeitpunkten vor Anwendung des Algorithmus korrigierend berücksichtigt. Dadurch wird die Zeit zur iterativen Annäherung an die Sollwerte reduziert.

[0045] Es ist zweckmäßig, einen Inertialsensor in starrer Verbindung mit der Bildaufnahmeverrichtung vorzusehen. Dieser wird an die Eingabeschnittstelle angeschlossen. Seine Positions- und Orientierungsdaten dienen der groben Bestimmung der Position und Orientierung der Sensorfläche gegenüber dem Messobjekt.

[0046] Besonders bei Körpern mit ähnlichen Oberflächenmerkmalen ist es vorteilhaft, Referenzkörper mit bekannten Oberflächeneigenschaften zusammen mit unbekannten oder durch nicht eindeutig zuordenbare Oberflächengestaltung charakterisierte Messobjekten im Bildaufnahmebereich zu positionieren. Die gleichzeitige Erfassung von markierten und/oder auch markanten Kurvenstücken beider Objekte im Bildaufnahmebereich und die Kombination der erfassten Oberflächenpunkte oder Kurven des Mess- und des Referenzkörpers erlaubt eine eindeutige Positions- und Orientierungsdatenerfassung bezogen auf ein Referenzkoordinatensystem.

[0047] Ein Beleuchtungskörper kann eine Strahlenquelle zur Markierung von Kurvenstücken oder punktuellen Teilen davon sein, insbesondere eine Laserlichtquelle.

[0048] Im Strahlengang der Strahlenquelle können optische Linsen oder in Schwingung versetzbare Spiegel angeordnet sein. Diese beleuchten gezielt Oberflächenkurven oder Punkte des Messobjektes.

[0049] Vorteilhaft kann der Einsatz des Lichtschnittverfahrens sein.

[0050] Alternativ kann eine Schattenbildende Schablone im Strahlenweg der Strahlenquelle angeordnet und der Schablonenrand für die Markierung von Kurvenstücken auf der Körperoberfläche maßgeblich sein.

[0051] Zweckmäßigerweise können durch Projektion erzeugte Kurven zumindest verzerrte Teile der Schnittlinie einer systembekannten Fläche mit einer bekannten Projektionsfläche enthalten. Die von der unbekannten Oberfläche verursachten Verzerrungen können über die Abbilder auf der Sensorfläche ermittelt werden und ermöglichen die Berechnung des Normalvektors.

[0052] Mindestens eine Vorrichtung sollte zur Ausgabe des Messergebnisses vorgesehen sein. Diese kann eine Anzeigeleuchte, ein Bildschirm, ein Drucker oder eine Schnittstelle für Speicherkarte, Bildschirm, Drucker oder EDV-Anlagen sein.

[0053] Die Erfindung wird anhand beiliegender Figuren näher beschrieben. Es zeigen:

- [0054] Fig. 1 ein Flussdiagramm für das Verfahren;
- [0055] Fig. 2 ein allgemeines Messobjekt mit drei erfassten Messkurven;
- [0056] Fig. 3 ein Beispiel für ein Querschnittsprofil eines Streckkörpers (Zylinders);
- [0057] Fig. 4 eine perspektivische Darstellung eines Streckkörpers mit dem Profil aus Fig. 3;
- [0058] Fig. 5 ein Beispiel für einen rotationssymmetrischen Körper im Aufriss;
- [0059] Fig. 6 eine perspektivische Darstellung des Rotationskörpers aus Fig. 5;
- [0060] Fig. 7 eine Ausformung des Messinstruments im Einsatz;
- [0061] Fig. 8a und 8b das Messinstrument mit seinen Funktionsblöcken;
- [0062] Fig. 9a bis 9e die schrittweise Annäherung an das gesuchte Körperprofil;
- [0063] Fig. 10a bis 10c drei unabhängige Lichtschnitte (gerade Lichtschnittebenen) in Blickrichtung parallel zur Strahlrichtung zu drei Zeitpunkten;
- [0064] Fig. 11a bis 11c die zu Fig. 10a bis 10c zugehörigen Bilder auf der Sensorfläche;
- [0065] Fig. 12a bis 12c die gefilterten Lichtschnitte von Fig. 11a bis 11c;
- [0066] Fig. 13 eine räumlich reale Zuordnung der Schnitte auf das Messobjekt in einem gemeinsamen Koordinatensystem;
- [0067] Fig. 14 die erfassten Daten als fein aufgelöste Punktreihen in einem gemeinsamen Koordinatensystem in zweidimensionaler Darstellung;
- [0068] Fig. 15 die um einen Zentrumspunkt des Koordinatensystems gedrehte zweidimensionale Darstellung der 3-dimensional vorliegenden Kurven, wobei die Abstände der Kurven in der 2D-Ansicht minimiert wurden, mit eingepasster Referenzkurve.

[0069] Ein erfindungsgemäßes Verfahren ist anhand des Flussdiagrammes in Fig. 1 grob dargestellt. Auf einer Sensorfläche 4 bilden sich Raumpunkte $P_i(x,y,z)$ oder Raumkurven $F_i(x,y,z)$ von markierten oder auch markanten Oberflächen zweidimensional als Bildpunkte $(u(t), v(t))$ ab. Die Abbildung ist eine Funktion der Lage x_p, y_p, z_p und der Orientierung $\alpha_p, \beta_p, \gamma_p$ der Sensorfläche 4 im Raum, welche vom Benutzer bestimmt wird und zeitlich veränderlich ist.

[0070] Durch trigonometrische Beziehungen aufgrund der Kenntnis von Beleuchtungs- und Erfassungswinkel können aus den Bildpunkten Raumpunkte $(x_{Si}(t), y_{Si}(t), z_{Si}(t))$ bezogen auf Sensorkoordinaten ermittelt werden. Dabei stellt $w(t)$ die auf die Sensorebene u, v normale, rechnerisch ermittelte Ausdehnung in Sensorkoordinaten dar. Für alle oder einige Raumpunkte $P_{Si} = (x_{Si}, y_{Si}, z_{Si})$ können Normalvektoren $n_{Si} = (n_{1Si}, n_{2Si}, n_{3Si})$ ermittelt werden.

[0071] Werden die Werte der Position und Orientierung der Sensorfläche 4 oder zumindest deren Änderungen $dx(t), dy(t), dz(t), d\alpha(t), d\beta(t), d\gamma(t)$ grob ermittelt, können die Sensorkoordinaten für jeden Zeitpunkt in Weltkoordinaten umgerechnet werden. Es entsteht ein Puzzle von Raumpunktwolken P_i' , die in grober Platzierung und Orientierung in Weltkoordinaten angeordnet sind. Da die Position und Orientierung des Messkörpers bzw. eines Messobjektes 6 als konstant angenommen wird, sind die Weltkoordinaten identisch zu den Festkörperpunkten.

[0072] Wegen der nur ungenau bekannten Position und/oder Orientierung sind für jede Sicht der Sensorkoordinaten aber nur geringfügig um die Fehler $e_x, e_y, e_z, e_\alpha, e_\beta, e_\gamma$ verschobene oder verdrehte Weltkoordinaten vorhanden. Daher ist noch keine exakte abgeschlossene 3D-Darstellung möglich. Kleine Lageverschiebungen und Verdrehungen durch ungenaue Ermittlung von Orientierung und Position der Sensorfläche 4 müssen daher mithilfe von Referenzpunkten P_m' und Referenzpunkt-Normalvektoren n_m' eliminiert werden. Dazu werden bestimmte identifizierbare Punkte ausgewählt, für welche neben den Punktkoordinaten auch die Normal-

vektoren bestimmt werden. Diese identischen Daten aus nicht identischen Erfassungsabbildern dienen dazu, Positionskorrekturen e_x' , e_y' , e_z' , e_α' , e_β' , e_γ' zu berechnen, mit denen die Fehler E_{pi} und E_{ni} minimiert werden.

[0073] Fig. 2 zeigt einen unregelmäßigen Formkörper; drei Linien sind als Oberflächenraumkurven gezeigt. Die grobe Raumposition ist durch die grob bekannte Position des Sensors 4 bekannt. Die nächstliegenden Punkte dieser Raumkurven werden als Referenzpunkte identifiziert und Normalvektoren zu diesen Referenzpunkten bestimmt. Die Raumlagen dieser Raumkurven müssen im nachfolgenden Schritt korrigiert werden, sodass die Abstände dieser Referenzpunkte zueinander und die Winkeldifferenzen ihrer Normalvektoren minimiert werden.

[0074] Die Funktion und der Aufbau der Erfindung erlauben das Ermitteln ganz bestimmter wesentlicher geometrischer Formdaten. In Fig. 3 bis 7 sind zwei unterschiedliche Beispiele für Objekte gezeigt. Ein erfindungsgemäßes Verfahren erlaubt eine rasche und hinreichend genaue Bestimmung einer erzeugenden Kontur bzw. Profilkontur 22 eines Streckkörpers oder der erzeugenden Kontur bzw. des Rotationsprofils 29 eines Rotationskörpers. Dabei muss die Ausdehnung oder Drehung nur so weit gegeben sein, dass im Messbereich eines Messgerätes ausreichende Redundanz der Formeigenschaft besteht. Die Form soll zumindest in einem bestimmten Längenabschnitt oder in einem bestimmten Winkelabschnitt einen gleichbleibenden Konturabschnitt aufweisen. Die hier gezeigten Profile dienen nur der Anschaulichkeit.

[0075] Fig. 3 zeigt verschiedene Ausnehmungen 23, 25, 27 und einen oberflächenstrukturierten Abschnitt bzw. eine strukturierte Oberfläche 28 auf. Mit einem erfindungsgemäßen Messgerät soll eine Spaltbreite 24 oder eine Versatztiefe 26 bestimmt werden können. Weiters sollen Abweichungen der Profilkontur 22 gegenüber einem Sollprofil messbar sein. Eine Möglichkeit der Messung einer Profiltreue über die gesamte Ausdehnung ist ebenfalls durch das Messgerät feststellbar.

[0076] In Fig. 4 ist das Messobjekt 6 mit der Profilkontur 22 aus Fig. 3 in räumlicher Darstellung gezeigt. Dieses Bild kann von einer optischen Sensorfläche 4 erfasst werden. Da die Kontur der Schnittfläche sichtbar ist, bräuhete diese nicht extra hervorgehoben werden. Mithilfe von Bildverarbeitungsprogrammen kann die Kontur aus dem Bildinhalt gefiltert werden. Diese weist jedoch eine aufgrund der Position und Orientierung des Messobjektes 6 gegenüber der Sensorfläche 4 eine perspektivische Verzerrung auf. Es fehlt die Tiefeninformation. Sind jedoch Formeigenschaften bekannt, wie beispielsweise rechte Winkel, ist es möglich, die perspektivische Verzerrung durch die Zentralprojektion wieder zurückzurechnen und eine Normaldarstellung zu errechnen. Die Genauigkeit ist von der Auflösung der Sensorfläche 4, also der Zahl der Sensorelemente, aber auch von der Güte der Optik abhängig. Je mehr Bildpunkte die optische Sensorfläche 4 aufweist, desto genauer kann die Grundform bzw. Profilkontur 22 ermittelt werden. Optische Verzerrungen können durch Kalibrierungen behoben werden, wobei bekannte Objekte oder Musterflächen im Erfassungsraum der Korrektur dienen.

[0077] Vektorisierungsprogramme können die Pixelgraphiken umrechnen und aus den so erhaltenen Darstellungen können dann gewisse Forminformationen herausgelesen werden. Schwieriger ist es, wenn die Schnittfläche eines Streckkörpers nicht sichtbar oder nur teilweise sichtbar ist oder wenn die Stirnfläche keinen Normalschnitt darstellt. Wenn das interessierende Profil in einem Zwischenabschnitt eines Körpers vorliegt, kann eine reine Bildverarbeitung nicht mehr erfolgreich sein.

[0078] In Fig. 5 ist ein stufiger Drehzylinder mit drei unterschiedlichen Radien entlang dreier unterschiedlicher Längenabschnitte gezeigt. Das zu messende Rotationsprofil 29 ist stärker hervorgehoben. In Fig. 6 sieht man den Rotationskörper in perspektivischer Ansicht ebenfalls mit der Betonung des zu messenden Rotationsprofils 29. Für eine optische Sensorfläche, wie beispielsweise jene einer Digitalkamera, muss hier jedenfalls diese Linie markiert werden, sei es am Objekt durch Farbe oder durch einen exakten Lichtschnitt. Wieder kann mit bildverarbeitenden Methoden diese Kontur in die Bildebene umgerechnet werden, wenn die Formeigenschaften hinreichend bekannt sind.

[0079] Ein genauer Lichtschnitt benötigt exakte Ausrichtung der Strahlenebene auf dem Messobjekt 6; die Orientierung und Position von Kamerabildebene und Messobjekt 6 müssen eindeutig definiert sein, um genaue Ergebnisse zu liefern. Wird die gesuchte Profilkontur 22 am Objekt farblich hervorgehoben, ist der Aufwand allein dafür sehr hoch.

[0080] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung 1 erleichtert nun die Arbeit, insbesondere im Vergleich zur mechanischen Vermessung durch Lehren. Diese Vorrichtung 1 ist in Fig. 7 als handgeführtes Gerät skizziert. Im oberen Abschnitt des Gehäuses ist eine Markierungseinrichtung 2 eingebaut. Diese ist hier ein Halbleiterlaser mit einer Optik zur flächigen Aufweitung der kohärenten Strahlen entlang eines Horizontalwinkelabschnittes in Strahlrichtung, wodurch hier eine Gerade auf eine die Strahlebene schneidende ebene Fläche projiziert wird.

[0081] Diese Lichtprojektion erfolgt hier im Winkel von 45° gegenüber der Zielrichtung der Vorrichtung 1. Die Zielrichtung ist durch die Flächennormale auf die Sensorfläche 4 gegeben, welche sich im unteren Abschnitt der Vorrichtung 1 befindet (siehe Fig. 8a). Die durch die Markierungseinrichtung 2 aufgespannte Ebene zieht sich durch einen von der Sensorfläche 4 beobachtbaren Erfassungsbereich 3.

[0082] Die Sensorfläche 4 kann Teil eines digitalen Kameramoduls 34 sein. Auf ihr bildet sich durch die Öffnung der Kamera zweidimensional der Erfassungsbereich 3 ab. Durch die Markierungseinrichtung 2 wird eine Körperkontur 5 besonders hervorgehoben.

[0083] Wird zum Beispiel ein Bild bei eingeschaltetem Laser und eines bei ausgeschaltetem Laser gemacht, kann eine Differenz der Bildinhalte gebildet werden. Der Abstand der Aufnahmen muss möglichst kurz gegenüber einer möglichen Bewegung sein, um gleiche Bildinformation zu haben.

[0084] Eine sehr kurze Belichtungszeit oder ein energiereicher Laserlichtblitz, wenig Umgebungslicht oder spezielle optische Filter ermöglichen es, dass nur das diffuse Reflexlicht des Laserlichtes durch die optischen Sensoren erfasst wird.

[0085] Aufgrund des Triangulationswinkels kann in diesem Lichtschnittverfahren jedem Bildpunkt ein Raumpunkt im Sensorkoordinatensystem zugeordnet werden. Die dafür benötigten Systemparameter werden durch Kalibrierung gewonnen. Dadurch kann aus der Bildinformation und den Kalibrierdaten über die Abbildungsgenauigkeit und die Genauigkeit des Triangulationswinkels ein eindeutiges Modell der erfassten Kurve bezogen auf die Sensorkoordinaten gebildet werden.

[0086] Mithilfe eines Inertialsensors 9 in der Vorrichtung 1 kann die Bewegung derselben um das Messobjekt 6 erfasst werden. Dabei dienen drei zueinander orthogonale Beschleunigungssensoren der Erfassung der Translation durch zweifache Integration der erfassten Beschleunigung und drei orthogonale Winkelgeschwindigkeitssensoren zur Erfassung der Rotation. Über Koordinatentransformation kann mithilfe der erfassten Bewegungsdaten jede markierte und erfasste Kurve auf dem Messobjekt 6 eindeutig einer Raumbeschreibung zugeordnet werden. Allerdings ist diese Zuordnung von der Messgenauigkeit des Inertialsensors 9 abhängig, wodurch die Zielgenauigkeit der so erfassten Daten für bestimmte Anwendungen nicht ausreichen kann.

[0087] Für eine reine rekonstruktive dreidimensionale Abbilderfassung reichen die Auflösung der Sensorfläche 4 und die Genauigkeit kostengünstiger Inertialsensoren 9 jedoch aus. Um die Bilddaten der Sensorfläche 4 und die Daten des Inertialsensors 9 zu verarbeiten, ist ein integrierter Mikroprozessor 11 vorgesehen, geeignete Software weist der Bildinformation eindeutige Raumpunktkoordinaten zu, welche mit den Daten eines genauen Inertialsensors 9 in ein gemeinsames Koordinatensystem umgerechnet werden. Als (Arbeits-)Speichermedium 13 dienen interne RAM-Speicherchips.

[0088] Durch die Erfassung möglichst vieler Kurvenstücke auf der Oberfläche von Objekten kann dasselbe als 3D-Objekt in der EDV für Modellierung oder zur Ansteuerung von Rekonstruktionsgeräten dienen.

[0089] Die hier vorgestellte Vorrichtung 1 weist dem Stand der Technik gegenüber eine Möglichkeit zur permanenten Selbstjustage der Positions- und Lagedaten aus den Messdaten auf, wodurch kostengünstige Inertialsensoren 9 eingesetzt werden können oder häufige Kalibrierung des Sensors wegfallen kann. Der im Programmcode 12 implementierte Algorithmus erfasst formredundante Daten für benachbarte Erfassungsorts- und Zeitpunkte und ermittelt durch Redundanzreduktion den Grundformverlauf des erfassten Abschnittes. Eine Redundanz ist beispielsweise durch abschnittsweise konstanten Querschnitt in linearer oder rotatorischer Ausdehnung gegeben. Da der Benutzer die Vorrichtung 1 während eines Messvorganges nicht ruhig und konstant an einem Ort halten kann, kann die Vorrichtung 1 mehrere leicht zueinander versetzte Kurvenzüge erfassen. Diese weisen aufgrund der Redundanz kongruente und ähnliche Abschnitte auf.

[0090] Ein mögliches Verfahren zur Ermittlung einer Vorzugsschnittfläche ist in der AT 501 507 A1 bereits vorgestellt. Dort sind jedoch bekannte geometrische Gesetzmäßigkeiten in einer Raumrichtung Voraussetzung. Die Erfassung ganzer Umlaufkonturen ist aufgrund des fehlenden Inertialsensors 9 nur erschwert mithilfe von Überlappungen möglich. Ähnlichkeiten im Umfangsverlauf können Zuordnungsmehrdeutigkeiten erzeugen.

[0091] Eine zweckdienliche Verbesserung ist das Nutzen von Lichtflächenspot-Begrenzungsflächen oder Schattenbegrenzungsflächen, insbesondere wenn die Form des Lichtflächenspots oder der Schattenfläche systembekannt ist.

[0092] Fig. 8a und b zeigen das Ausführungsbeispiel aus Fig. 7 jeweils in einer Seitenansicht. Die Vorrichtung 1 besteht aus den beschriebenen Komponenten: Markierungseinrichtung 2, lichtempfindliche Sensorfläche 4 im Kameramodul 34, Inertialsensor 9, einem Mikroprozessor 11 und Speichermedien 13. Ein Haltegriff 30 mit einer Greiföffnung 31 erlaubt eine einfache Handhabung. Am oberen Ende des Haltegriffes 30 können ein oder zwei Auslöseschalter oder Taster bzw. allgemein Betätigungsschalter 32 vorgesehen sein, welche einen Messvorgang auslösen oder eine Messvorgangsreihe starten und stoppen können. Beim Einschalten einer Stromversorgung bzw. einer Batterie oder einem Akkumulator 37 über einen Ein/Aus-Schalter 33 wird die Markierungseinrichtung 2 aktiviert und eine Software gestartet, wobei die Initialisierung und eventuelle Selbsttests durchgeführt werden. Dies erlaubt einem Benutzer eine optische Überprüfung, ob die Vorrichtung 1 bzw. das Messgerät aktiv ist und fehlerfrei arbeitet. Zusätzlich kann eine Anzeige des Betriebszustandes über eine optische Anzeigevorrichtung wie eine Leuchtdiode oder ein LCD oder einen Bildschirm 39 erfolgen. Der Benutzer hält also das Gerät in Richtung Messobjekt 6 im für ihn interessanten Oberflächenbereich. Dann betätigt er den Betätigungsschalter 32 mit dem Daumen. Die Messung beginnt.

[0093] Verschiedene Modi können vorgesehen sein. Ein Einzelaufnahmemodus ermöglicht sparsame Verwendung des Speicherbedarfs. Dabei nimmt der Benutzer in ausreichend engen räumlichen Abständen rund um das Messobjekt 6 Konturlinien auf, welche beliebige Lage zueinander haben dürfen, jedoch möglichst eine genannte Redundanzeigenschaft des Objektes nicht verlassen sollen. Es können dabei beispielsweise 15 Aufnahmen definiert sein. Nach der 15. Aufnahme analysiert ein zuvor gespeichertes Berechnungsprogramm in einem ROM die Bilder und bildet die gesuchten Messwerte. Anstelle der Einzelaufnahmen können auch Serienaufnahmen stattfinden. Dann wird automatisch in vorbestimmten Zeitabständen die Auslösung durchgeführt. Der Benutzer fährt dann zügig das Messobjekt 6 um den Erfassungsbereich 3 ab. Akustische Signale können den Start, die Zeitpunkte der Aufnahme und das Ende der Serie anzeigen. Dazu kann Vorrichtung, nämlich ein Lautsprecher bzw. Tongeber 40 dienen.

[0094] Im einfachsten Fall kann nach der erfolgten Messung die Leuchtdiode anzeigen, dass das erlaubte Toleranzmaß für den Querschnitt oder für eine Spaltbreite oder für einen Versatz eingehalten ist oder nicht, z. B. durch Wechseln der Farbe.

[0095] Die gesamten ermittelten Daten des sehr wahrscheinlichen Profils können auf dem Speichermedium 13 abgelegt und über eine Schnittstelle an weitere EDV-Geräte übermittelt werden. Durch Vektorisierung kann die Datenmenge klein gehalten werden. Die Daten der einzelnen erfassten Linien nehmen ein Vielfaches dieser Datenmenge ein und werden vor-

zugsweise nur temporär abgelegt.

[0096] Mögliche Schnittstellen für Datentransport oder Programmaktualisierung sind unter anderen Universal Serial Bus (USB, serielle Datenschnittstelle), Bluetooth und WLAN (Funkschnittstellen). Beispielsweise können die Daten auf einen USB-Stick übertragen werden, um von einem stationären Rechner eingelesen zu werden. Auch ein Speicherkarten-Slot kann vorgesehen sein.

[0097] Für zusätzlichen Komfort kann auch der Bildschirm 39 auf der Vorrichtung 1 vorgesehen sein und/oder über eine Schnittstelle zusätzlich angeschlossen werden. Auf diesem kann das ermittelte Profil und/oder die daraus ausgewerteten Messungen gezeigt werden. Ist ein berührungsempfindliches LC-Display 39 vorhanden, können benutzerseitig viele Parameter menügeführt verändert werden.

[0098] Da die Vorrichtung 1 sehr spezifisch programmiert werden kann, ergeben sich viele unterschiedliche Applikationen. Die Vorrichtung 1 kann als Messgerät für Eisenbahnräder oder als ein Messgerät für Schienenprofile, als Messgerät für Baumstämme oder vieles andere mehr programmiert sein. Je nach Anwendungsfall gibt es unterschiedliche Ausgabewerte. Insbesondere können Profile mit für das Auge nur schwer erkennbaren Unterschieden rasch voneinander unterschieden und geordnet werden, z. B. jene von Schlüsseln.

[0099] Fig. 9a bis 9e verdeutlichen das Wesen der ersten Variante des vorgeschlagenen Messprinzips anhand von Kreisen. Diese stellen Schnittlinien von systembekannten Flächen (hier: Kegelflächen) mit einer bekannten Projektionsfläche (hier: Ebene) dar. In Fig. 9a ist die Betrachtung in Projektionsrichtung aus der Markierungseinrichtung 2 gezeigt. Diese Kreiskurven, welche entweder gleichzeitig oder hintereinander auf verschiedene Oberflächenteile des Messobjektes 6 projiziert werden könnten, werden durch die Oberfläche verformt (hier zu Ellipsen oder verkrümmten Ellipsen). Aus Größe und Lage der Ellipsenhauptachsen kann auf die Richtung der Oberflächennormale im Sensorkoordinatensystem geschlossen werden.

[00100] In Fig. 9b bis 9e ist diese Veränderung verdeutlicht. Der Flächeninhalt der Kreise wird für einen bestimmten Betrachtungswinkel von einem Blickpunkt außerhalb des Erfassungsgebietes immer kleiner, bis er aufgrund der redundanten Profilform gegen null geht. Sind nun rund um die gesuchte Querschnittfläche alle Kreisprojektionen flächenparallel zur Betrachtungsrichtung, dann verschwinden bei ausreichender Streckenkongruenz die Flächeninhalte der durch die Oberfläche verzerrten Kreisprojektionen.

[00101] Anstelle von Kreisen können beliebige systembekannte Kurven projiziert werden. Der einfachste Fall sind Geradenstücke. Nach Projektion dieser Stücke rund auf die Oberfläche bzw. rund um das Profil liegt im Speicher eine Vielzahl von verformten Raumkurvenstücken vor, welche durch den Inertialsensor 9 und die Triangulation eine eindeutige Raumzuordnung aufweisen. Der Algorithmus ist in diesem Fall ähnlich.

[00102] Die Schritte der Erfassung sind in Fig. 10 bis 15 dargestellt. In Fig. 10a bis 10c ist ein Messobjekt 6 gezeigt, welches in Richtung der Bestrahlung durch eine Markierungseinrichtung Geraden zeigt, welche jedoch in einer Ebene normal zur Bildebene bestimmte Wölbungen des Messobjektes 6 aufweisen. Die Linien sind an drei verschiedenen Positionen zu drei verschiedenen Zeitpunkten aufgebracht. Da die lichtempfindliche Sensorfläche 4 gegenüber der Strahlachse einen Triangulationswinkel aufweist, wird auf dieser jeweils ein Bild abgebildet, welches den Darstellungen Fig. 11a bis 11c entspricht. Das Messobjekt 6 ist insgesamt zu sehen und trägt jeweils ein betontes Kurvenstück 5, 5', 5".

[00103] Durch Filterung wird nur die Information der Kurven 5, 5', 5" aus den drei Zeitaufnahmen gemäß Fig. 12a bis 12c als digitales Abbild (Punktvektoren) gespeichert. Jede Kurve hat ihr Koordinatensystem. In einem ersten Schritt wird die Position und Orientierung der Kurve auf ein gemeinsames Bezugskordinatensystem transformiert. Dieses System kann wie in Fig. 13 gezeigt einem virtuellen Raumkörper als zweidimensionales Abbild zugeordnet sein. Hier ist die reale Lage des Raumkörpers strichliert in die Darstellung eingezeichnet, um die Situation der drei erfassten Kurven auf dem Körper zu verdeutlichen. Dieser Körper liegt jedoch nicht in Form

von Daten dem System vor. Die Daten der Kurven sind im gemeinsamen Bezugssystem in Fig. 14 gezeigt. Zusätzlich ist die gesuchte Kontur strichliert eingefügt. Wird die Darstellung um zwei Achsen durch das Zentrum der Erfassungsebene im gemeinsamen Bezugskoordinatensystem gedreht, können die erfassten Teilstücke in ihren Überlappungsbereichen in die gleiche Flucht-richtung normal auf die Bildebene auf bestmögliche Überdeckung gebracht werden, die so erhaltene zweidimensionale Darstellung ergibt die gesuchte Kurvenform oder Fragmente davon. Fig. 15 zeigt das Ergebnis mit einer zuvor gespeicherten Basisform in Deckung gebracht. Fig. 13 und Fig. 14 sind hier nicht geometrisch exakt, zumal die Zentralprojektionsdarstellung keine eindeutige Skalierung der x- und y-Achsen für alle z-Werte zulässt.

[00104] In Fig. 15 ist die Zentralprojektionsverzerrung dagegen unberücksichtigt und die Achsen x' und y' sind eindeutig bestimmbar und somit auch bestimmte Formabmessungen. Neben den eindeutigen Lagepositionen der Kurvenstücke 5, 5, 5" mithilfe des Inertialsensors 9 kann auch die Kongruenz oder treffender die Ähnlichkeit der Kurven zur Orientierungsbestimmung zweier Kurven zueinander dienen. Dadurch kann in der Folge die Lage der Kurven bezogen auf die Normalschnittlage ermittelt werden. Die Ähnlichkeit der Kurven ermöglicht somit eine Kontrolle und Erhöhung der Messgenauigkeit des Gesamtmessvorganges und rückwirkend auch eine Kalibrier- oder Korrekturmöglichkeit für den Inertialsensor 9, insbesondere für sein Driftverhalten.

[00105] Diese erste Variante des Messprinzips stellte folglich eine Stauchung und Parallelverschiebung in eine gemeinsame Ebene normal zur Ausdehnungsrichtung des Profils dar.

[00106] Die zweite Variante des Messprinzips kann dann erfolgen, wenn trotz gemeinsamer mathematischer Rotation der betonten Kurvenstücke um zwei zueinander orthogonale Raumrichtungen keine Lösung erfolgen kann, wodurch eine Redundanz aufgrund von in gemeinsamer Flucht liegenden überlagerten Kurvenstücke eliminiert werden würde.

[00107] Dann handelt es sich möglicherweise um einen erfassten Messobjekts-Abschnitt mit drehsymmetrischen Eigenschaften. Für große Radien des Rotationskörpers und dazu in kleinen Winkelabschnitten erfassten Kurven kann näherungsweise $\sin \alpha = \alpha$ gesetzt werden, dann ergibt sich auch aus der Variante 1 ein verwendbares Resultat. Anderenfalls wird zweckmäßiger als gemeinsames Koordinatensystem ein Zylinderkoordinatensystem (r, φ, z) gewählt.

[00108] Zur Ermittlung der Position und Orientierung der Rotations- oder Drehachse dienen wieder die Ähnlichkeiten der erfassten Kurvenstücke 5, 5', 5". So kann das Koordinatensystem durch Drehen und Verschieben in eine Position und Lage gebracht werden, in welcher mindestens drei bestimmte zuordenbare Formpunkte wie Knicke, Sprünge oder dergleichen den gleichen Abstand R zum gesuchten Zylinderkoordinatenmittelpunkt aufweisen. Die resultierende Lage entspricht der Polarkoordinatenansicht. Dann werden alle Punkte aller erfassten Kurven in die gleiche Polarkoordinatenwinkellage gedreht, z. B. in die z-Ebene mit Winkel $\varphi = 0^\circ$. Diese Operation entspricht einer Drehstauchung der erfassten betonten Kurvenstücke. Die gewählte z-Ebene bildet infolge alle erfassten Kurvenstücke in Profilebene ab, wobei das resultierende Profil dem gesuchten Profil äußerst ähnlich ist, wenn man von geringen lokalen nicht erfassten Oberflächen-Veränderungen absieht. Das Ergebnis zeigt ein interpoliertes über die erfassten Kurven gemitteltes Resultat mit den Hauptformeigenschaften. Gleichmäßiger Abrieb, Verschleiß, Abnützung, Formveränderung durch Temperatur oder Witterungseinflüsse können aber prinzipiell sehr gut und genau erfasst werden.

[00109] Neben der Verwendung der Vorrichtung 1 als Messgerät kann es auch als Navigationshilfe eingesetzt werden. Dabei kann die Genauigkeit der Auflösung des eingebauten Inertialsensors noch erhöht werden. Sehr genau gestaltete Messobjekte mit gut vermessenen Formeigenschaften dienen als Positions- und Orientierungsreferenz.

BEZUGSZEICHENLISTE

- | | |
|---|--|
| 1 Vorrichtung zur Konturdaten-, Spaltbreiten- und Versatzerfassung. | 28 strukturierte Oberfläche |
| 2 Markierungseinrichtung | 29 Rotationsprofil |
| 3 Erfassungsbereich für mögliche Raumkurven | 30 Haltegriff |
| 4 lichtempfindliche Sensorfläche | 31 Greiföffnung |
| 5 betontes Kurvenstück | 32 Betätigungsschalter, evt. Taster |
| 6 Messobjekt | 33 Ein/Aus-Schalter |
| 7 Objektiv | 34 Kameramodul |
| 8 Öffnung | 35 Schnittstellenschaltung (USB, WLAN oder Bluetooth) |
| 9 Inertialsensor | 36 Prozessorplatine |
| 10 lichtempfindlicher Sensor (CMOS, CCD) | 37 Batterie, Akkumulator |
| 11 Mikroprozessor | 38 Optische Anzeigevorrichtung (z. B. LED) |
| 12 Programmcode | 39 LC-Display oder Bildschirm |
| 13 Arbeitsspeicher | 40 Lautsprecher, Tongeber |
| 14 Bezugssystem | 41 Positions- und Orientierungsinformation |
| 15 kurvenverlaufsbildende Vorrichtung | 42 Eingabe Schnittstelle Positionsdaten |
| 16 Strahlenquelle | |
| 17 optische Linse(n) | $P = (x, y, z)$ Punkt in Objektkoordinaten |
| 22 Profilkontur | $I = (u, v)$ Bildpunkt |
| 23 Ausnehmung (Spalt) | $P_s = (x_s, y_s, z_s)$ Punkt in Sensorkoordinaten |
| 24 Spaltbreite | $(x_p, y_p, z_p, \alpha_p, \beta_p, \gamma_p)$ Sensorpose |
| 25 Ausnehmung mit Versatz | (Position und Orientierung) |
| 26 Versatztiefe | $(e_x, e_y, e_z, e_\alpha, e_\beta, e_\gamma)$ Pose-Fehler |
| 27 messtechnisch schwer erreichbare Ausnehmung | P' fehlerhafter Punkt |
| | n' fehlerhafter Normalvektor |

Patentansprüche

1. Verfahren zur mobilen optischen Erfassung von ausgewählten Oberflächendaten mindestens eines Festkörpers bzw. Messobjektes (6) anhand von Oberflächenkurven oder punktuellen Teilen davon und geometrisch-mathematische Kombination der Oberflächendaten zur Ermittlung wesentlicher, den Festkörper charakterisierenden geometrischer Größen und/oder deren Analyse im Vergleich zu Solldaten, durch sequenzielle Aufnahme und Verarbeitung zweidimensionaler Abbilder der ausgewählten Oberflächendaten auf einer lichtempfindlichen Sensorfläche (4), **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - i. für jeden Punkt oder einige Punkte der Kurven ein Vektor bestimmt wird, dessen Orientierung orthogonal auf ein um den Punkt liegendes Flächeninkrement ist, und
 - ii. eine Position und eine Orientierung der Sensorfläche (4) gegenüber dem Festkörper zum Zeitpunkt einer Erfassung jedes zweidimensionalen Abbildes in grober Genauigkeit ermittelt werden und einer Berechnung von groben dreidimensionalen Daten der erfassten Punkte oder Kurven dienen und
 - iii. identische Kurvenpunkte aus unterschiedlichen Erfassungspositionen und/oder -Orientierungen anhand in grober Genauigkeit ermittelten Position und Orientierung mithilfe von eindeutigen Kurvenmerkmalen identifiziert oder iterativ anhand grob erfasster Positions- und Orientierungsdaten einander angenähert werden, wobei Abstände identischer Punktdaten die Lage korrigierend minimiert werden und Verdrehungen der diesen Punktdaten zugehörigen Normalvektoren durch eine Orientierungskorrektur des zugehörigen Punktdatensatzes oder der zugehörigen Kurve parallelisiert werden, und
 - iv. anhand so ermittelter Korrekturdaten eine Genauigkeit von relativen Positions- und Orientierungsdaten der Sensorfläche (4) für nachfolgende Erfassungen erhöht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Bestimmung der relativen Änderung der Position und Orientierung der Sensorfläche (4) die Messung seiner örtlichen Beschleunigungen und der Drehraten dient.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass bekannte Regelmäßigkeiten des Körpers benutzt werden, um bei der Berechnung die Freiheitsgrade von Position oder Orientierung der Sensorfläche (4) einzuschränken und in einem weiteren Schritt redundante Daten zu eliminieren oder durch ihre Mittelung Fehler zu minimieren.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass Verzerrungen der zweidimensionalen Abbilder aufgrund der Abbildungsmethode durch Kalibrierung erfasst und berücksichtigt werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass charakteristische identifizierbare Merkmale aus den erfassten Daten gefiltert werden und zur Bestimmung der Normalvektoren die perspektivischen Verzerrungen oder die Änderungen dieser Verzerrungen bei Anvisierung aus unterschiedlichen Orten und/oder Winkellagen mindestens einer auf der Körperoberfläche identifizierbaren Kurve oder von Punktabständen benachbarter Punkte verwendet werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass als charakteristische Merkmale zumindest Teile von Körperaußenkonturen, farblich unterschiedliche Oberflächenpunkte oder -linien oder farblich unterschiedliche Flächenbereiche oder Flächenbereichsübergänge oder Kombinationen dieser Merkmale verwendet werden.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass als charakteristische Merkmale Oberflächenkurven aus Reflexions-Lichtintensitäts-Übergängen sowie Eigenschatten ermittelt werden, wobei die lokale Lichtintensität aus der Form und Ausrichtung der Körperoberflächenbereiche oder aufgrund deren unterschiedlicher Oberflächenrauheit gegenüber einer Beleuchtungsquelle resultiert.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass Punkte oder Kurvenformen auf die Körperoberfläche projiziert werden, wobei die Projektion durch Licht- oder Schattenwurf erfolgt, und die räumliche Lage mindestens dreier benachbarter Oberflächenpunkte durch Triangulation ermittelt werden, um die Orientierung der Normalvektoren zu errechnen.
9. Vorrichtung (1) zur mobilen optischen Erfassung von ausgewählten Oberflächendaten mindestens eines Festkörpers bzw. Messobjektes (6) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, aufweisend eine Bildaufnahmeeinrichtung mit einer lichtempfindlichen Sensorfläche (4), Datenverarbeitungseinrichtungen (11) und Datenspeicher (13), **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine Einrichtung vorgesehen ist, zweidimensionale Abbilder mindestens einer markierten oder markanten Kurve des Festkörpers oder punktuellen Teilen davon zu filtern, und dass ein Algorithmus vorgesehen ist, der
 - i. zumindest in identifizierbaren identischen Kurvenpunkten mindestens zweier Kurven aus unterschiedlichen Messzeitpunkten und unterschiedlichen hinreichend groben Orientierungs- und Positionslagen anhand der jeweiligen Kurvenverzerrungen Vektoren bestimmt, deren Orientierung orthogonal auf die um die Punkte zugehörigen Flächeninkremente ist, und
 - ii. der durch iterative Minimierung von Abständen und Vektorwinkellagefehlern identischer Kurvenpunkte unterschiedlicher erfasster Kurven Translations- und Rotationskorrekturen für die Positions- und Orientierungsdaten bildet.
10. Vorrichtung (1) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Öffnungszeit begrenzende Verschlusseinrichtungen und/oder optische Filter zwischen Messobjekt (6) und der Bildaufnahmeeinrichtung angeordnet sind, um Erfassungszeit zu begrenzen bzw. um die Datenmenge auf der Bildaufnahmeeinrichtung auf selektive Bildinhalte zu reduzieren, vorzugsweise Farb- oder Polarisationsfilter, Tageslichtsperrfilter oder Graufilter.

11. Vorrichtung (1) nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Differenzbildungseinrichtung oder eine Differentiationseinrichtung in der Bildaufnahmeeinrichtung oder in einer der Datenverarbeitungsvorrichtungen (11) vorgesehen ist, um gleichbleibende Bildinhalte sequenzieller Bildverarbeitungszeitpunkte oder flächenhafte Bildinhalte wegzufiltern, und nur die inhaltlichen Änderungen oder Flächenkonturen weiterer Verarbeitung zugeführt werden, wobei aufgrund einer Trägheit von Sensorelementen der Sensorfläche (4) und deren Bewegung gegenüber dem Messobjekt (6) eine Mehrfachbelichtung erfolgen kann.
12. Vorrichtung (1) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Differenzbildung eine Beleuchtungseinrichtung vorgesehen ist, deren Lage gegenüber dem Messobjekt (6) und der Sensorfläche (4) oder deren Intensität, Strahlcharakteristik oder Farbe veränderbar ist.
13. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Schnittstelle für die Eingabe von Positions- und Orientierungsdaten der Sensorfläche (4) vorgesehen ist.
14. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche von 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine weitere Schnittstelle vorgesehen ist, über welche die korrigierten Positions- und Orientierungsdaten oder die ermittelten Korrekturdaten ausgegeben werden und welche im Falle systematischer Eingabefehler der Positions- und Orientierungsdaten bei nachfolgenden Messzeitpunkten vor Anwendung des Algorithmus korrigierend Berücksichtigung finden.
15. Vorrichtung (1) nach Anspruch 13 oder 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Inertialsensor (9) in starrer Verbindung mit der Bildaufnahmeeinrichtung vorgesehen ist, der an die Schnittstelle angeschlossen ist und dessen Positions- und Orientierungsdaten der groben Bestimmung der Lage der Sensorfläche (4) gegenüber dem Messobjekt (6) dienen.
16. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 9 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass Referenzkörper mit bekannten Oberflächeneigenschaften zusammen mit unbekannten oder durch nicht eindeutig zuordenbare Oberflächengestaltung charakterisierte Messobjekten mit gleichzeitig erfassbaren markanten oder markierten Kurvenstücken im Bildaufnahmebereich positioniert sind und die Kombination der erfassten Oberflächenpunkte oder Kurven des Referenzkörpers mit dem Messobjekt (6) eine eindeutige Positions- und Orientierungsdatenerfassung bezogen auf ein Referenzkoordinatensystem gestatten.
17. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 9 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Strahlenquelle (16) zur Markierung von Kurvenstücken (5) oder punktuellen Teilen davon, insbesondere mindestens eine Laserlichtquelle, vorgesehen ist.
18. Vorrichtung (1) nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine schattenbildende Schablone im Strahlenweg der Strahlenquelle (16) angeordnet ist und ein Schablonenrand für die Markierung von Kurvenstücken (5) auf der Körperoberfläche maßgeblich ist.
19. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 9 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die durch eine Projektion erzeugten Kurven zumindest verzerrte Teile der Schnittlinie einer systembekannten Fläche $A_2(x,y,z)$ mit einer bekannten Projektionsfläche $A_1(x,y,z)$ erzeugen würde, und die Verzerrungen durch eine unbekannte Oberfläche $A(x,y,z)$ des Festkörpers bzw. Messobjektes (6) über die Abbilder auf der Sensorfläche (4) ermittelbar sind.

Hierzu 7 Blatt Zeichnungen

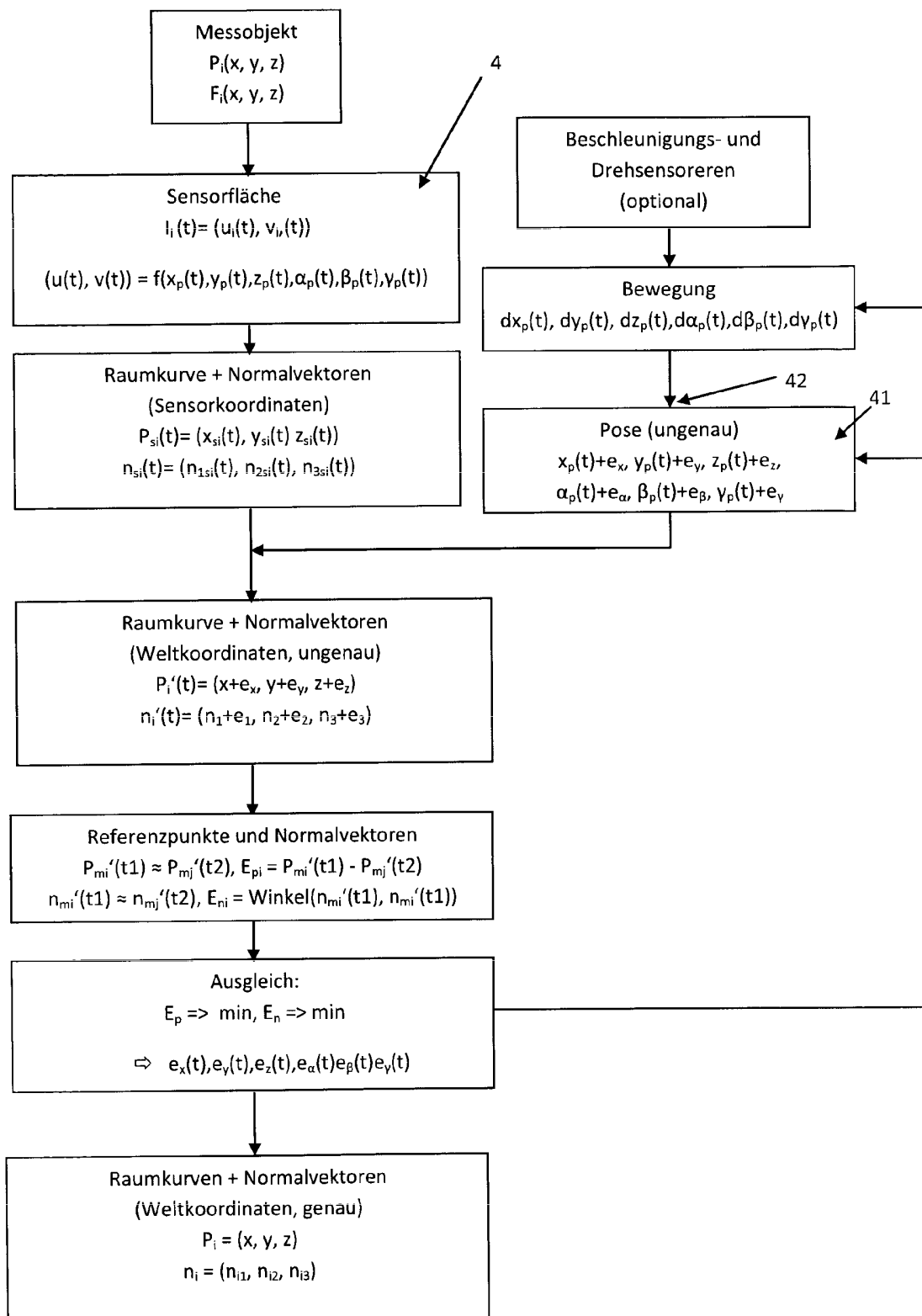


FIG.1

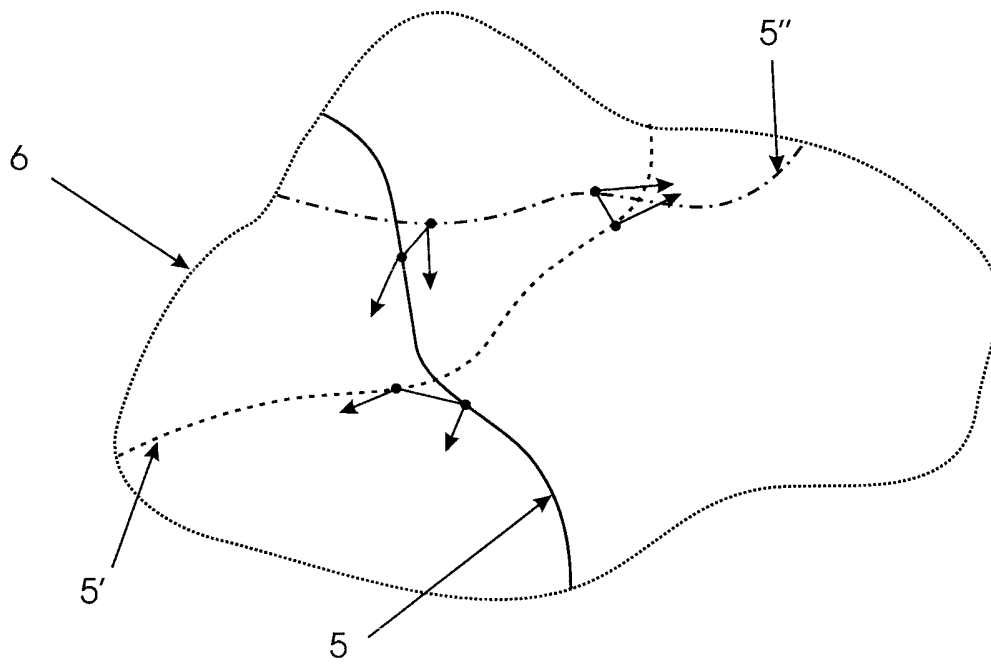
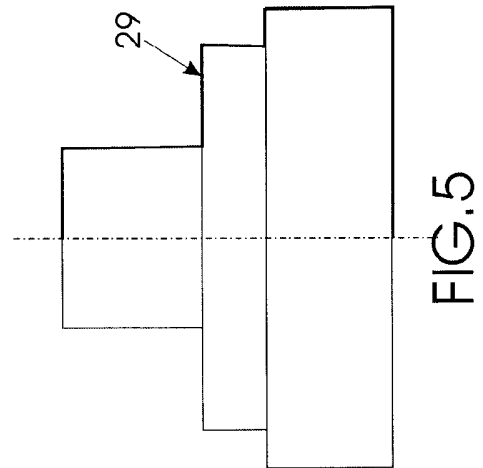
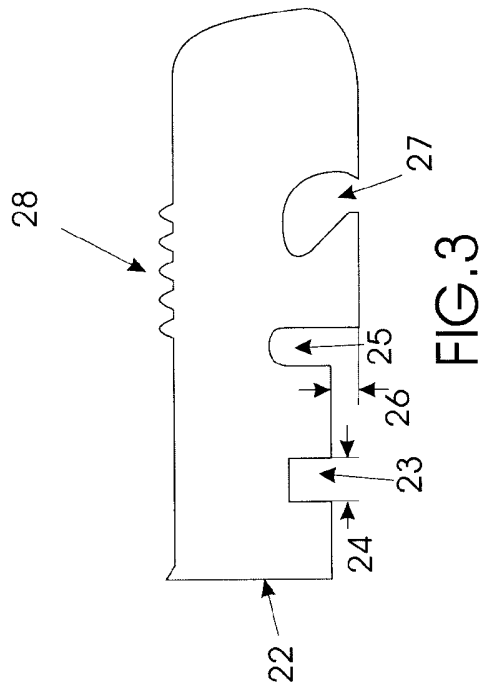
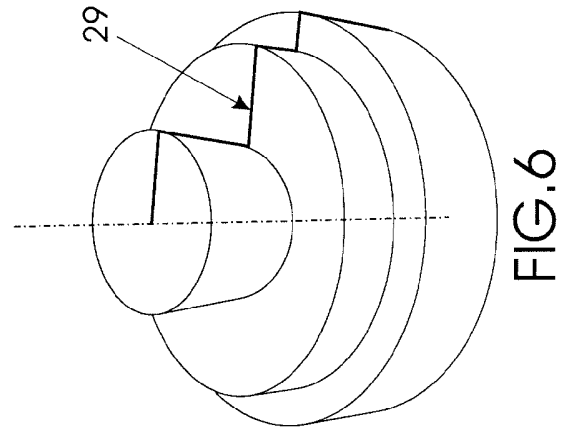
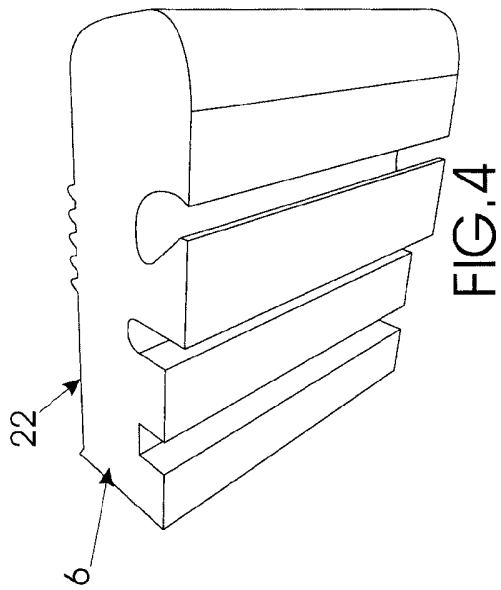
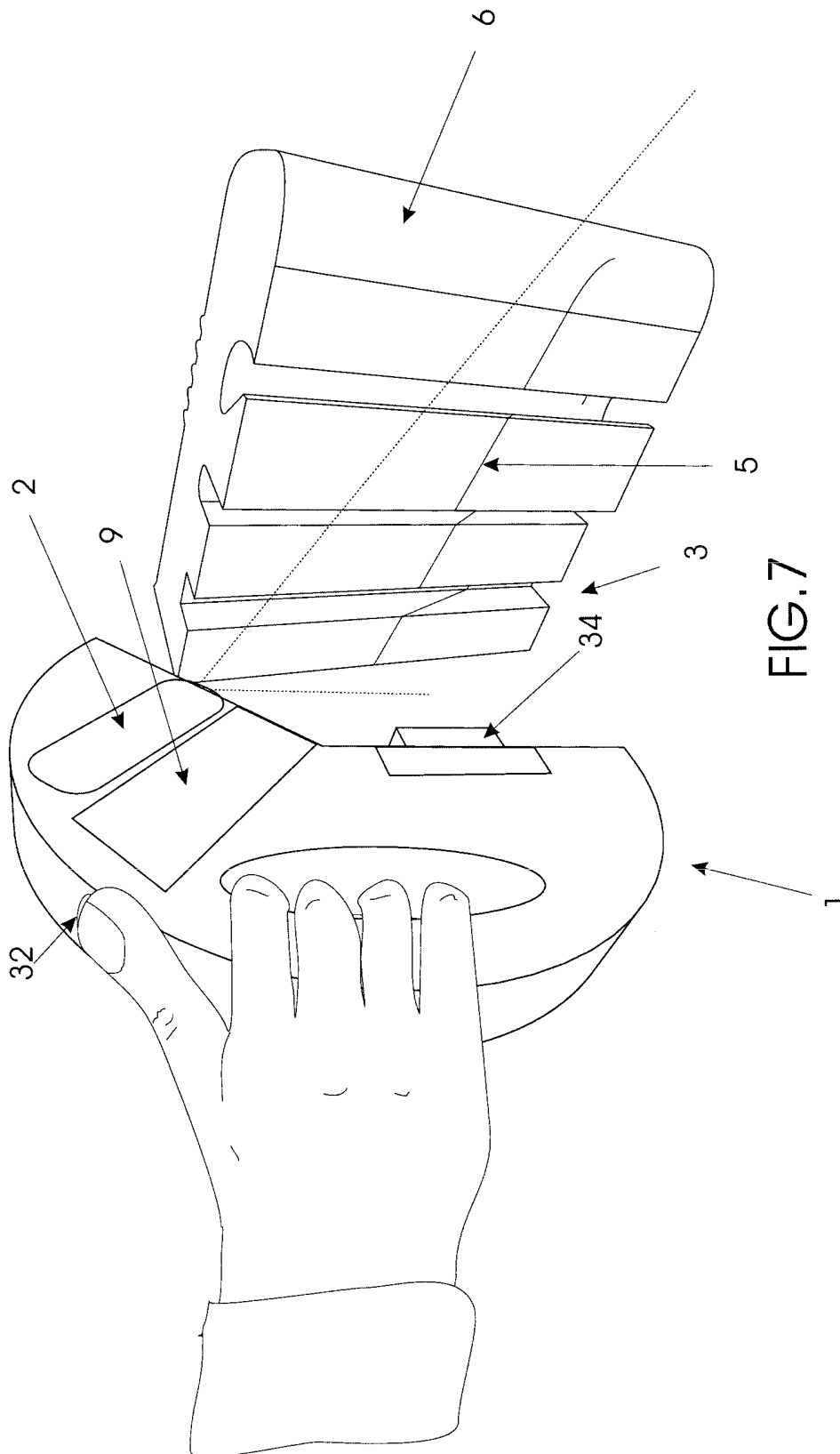


FIG.2

2/7



3/7



4/7

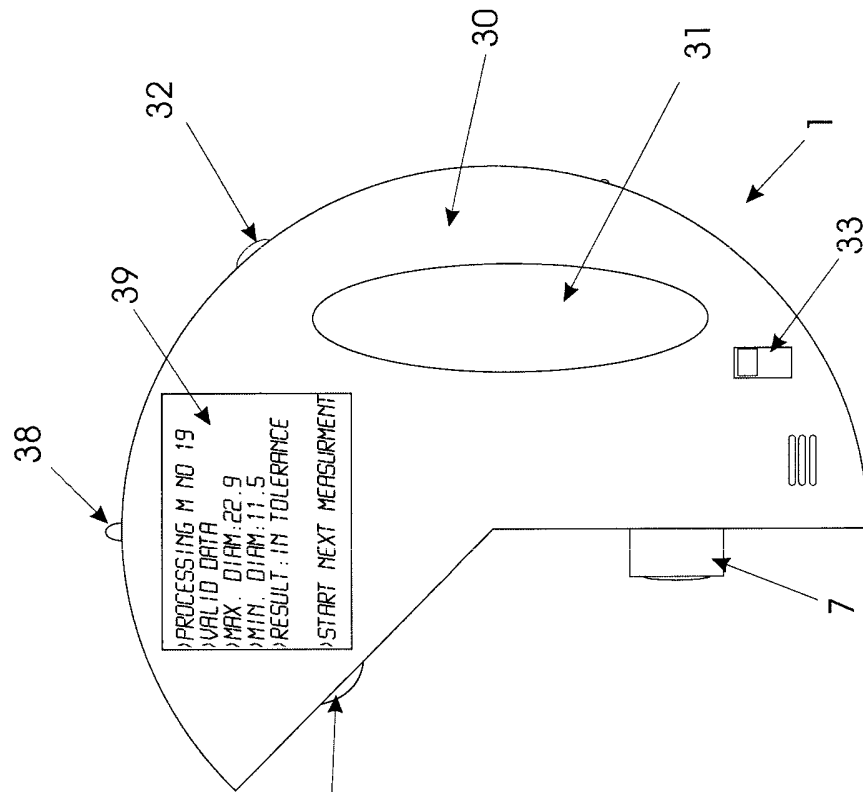


FIG. 8b

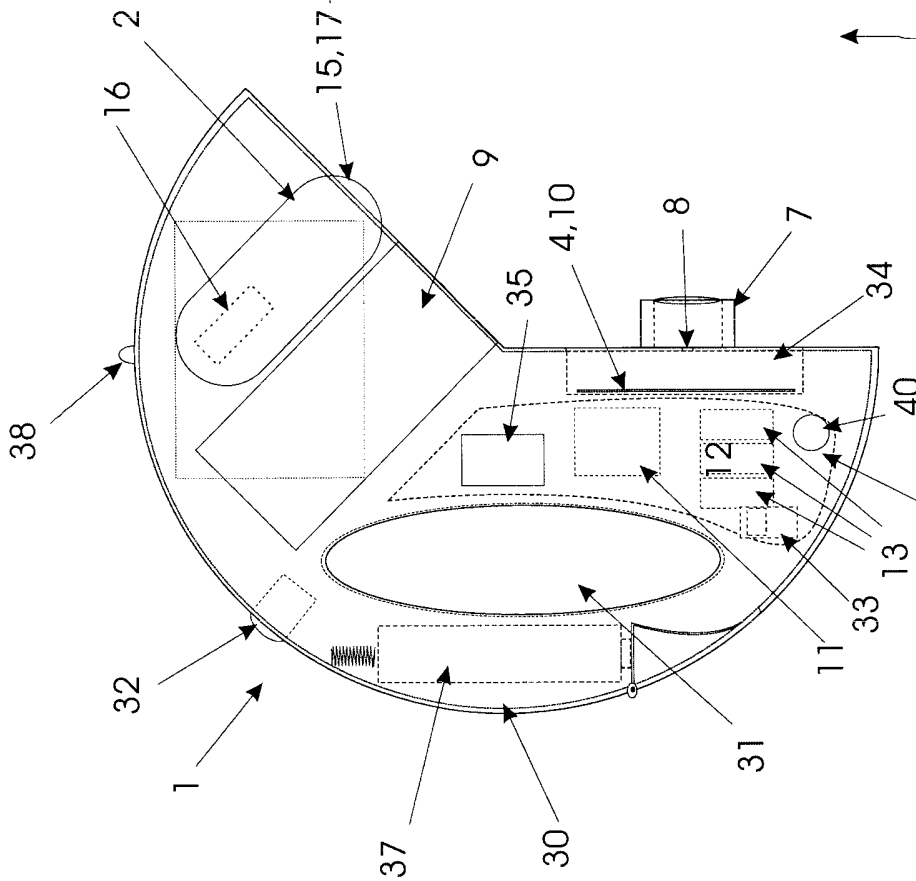
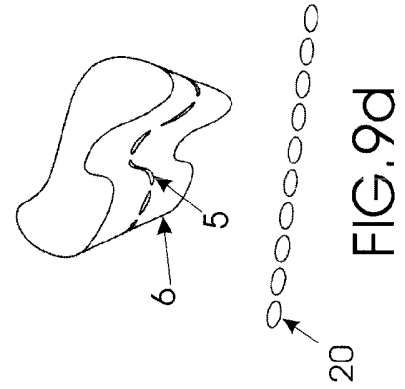
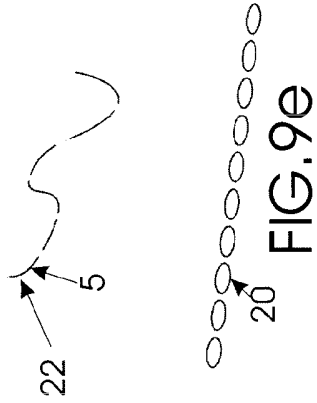
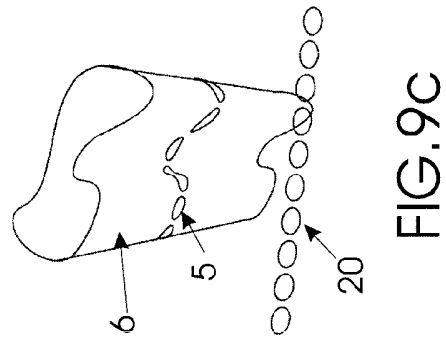
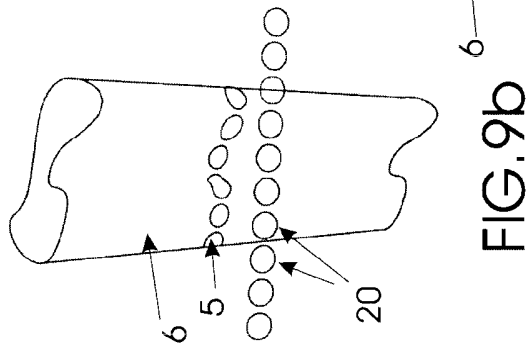
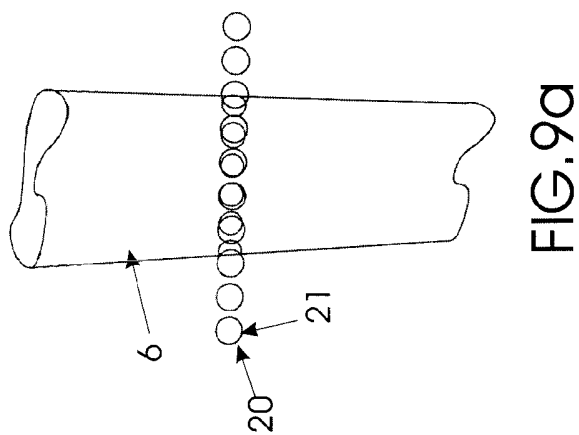


FIG. 8a



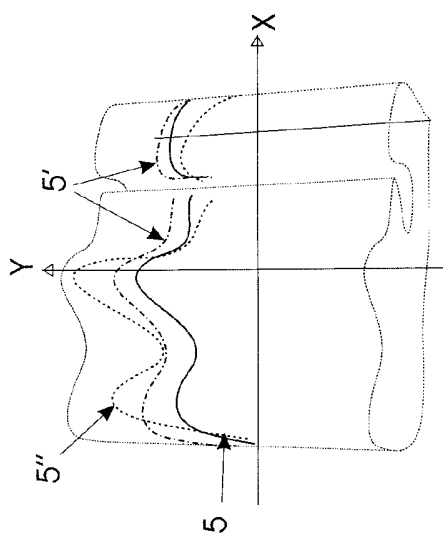


FIG. 13

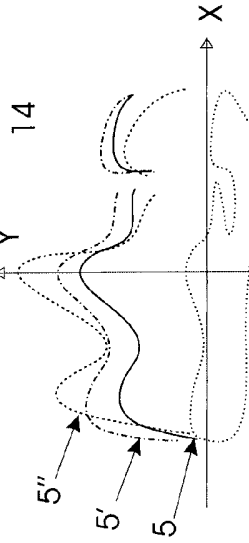


FIG. 14



FIG. 15

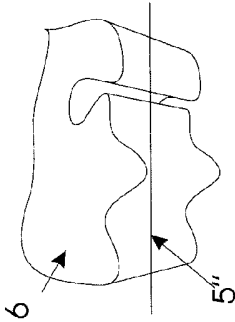


FIG. 10a

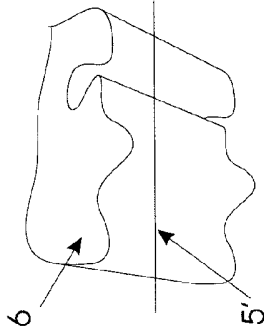


FIG. 10b

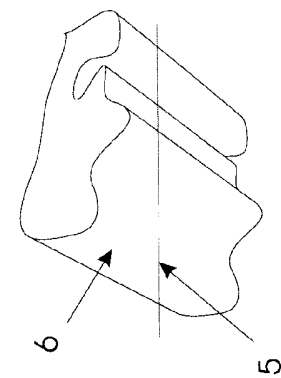


FIG. 10c

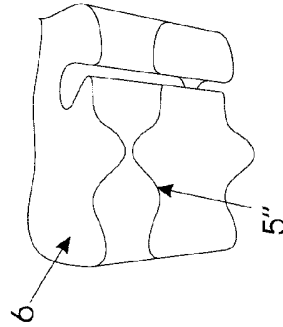


FIG. 11a

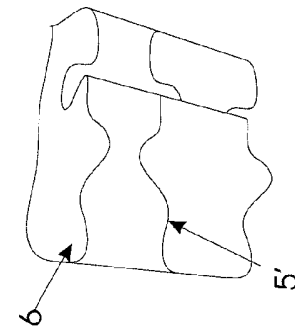


FIG. 11b

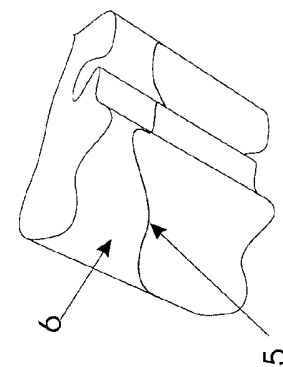


FIG. 11c

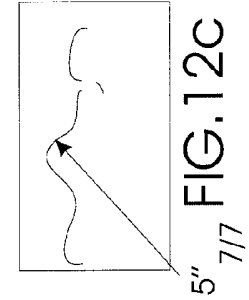


FIG. 12a

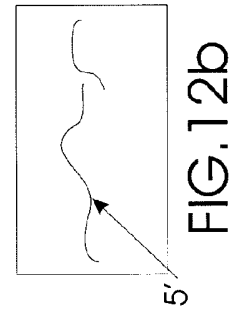


FIG. 12b

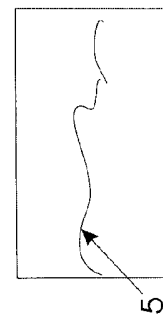


FIG. 12c