



(10) **DE 11 2011 101 407 B4** 2015.12.17

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 101 407.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2011/033360**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2011/133731**
(86) PCT-Anmeldetag: **21.04.2011**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **27.10.2011**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **18.04.2013**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **17.12.2015**

(51) Int Cl.: **G01S 17/66 (2006.01)**
G06F 3/01 (2006.01)
G01C 15/00 (2006.01)

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

(30) Unionspriorität:
61/326,294 **21.04.2010** **US**

(73) Patentinhaber:
Faro Technologies, Inc., Lake Mary, Fla., US

(74) Vertreter:
OFFICE FREYLINGER S.A., Strassen, LU

(72) Erfinder:
Steffensen, Nils P., Kennett Square, US; Wilson, Todd P., Parkesburg, US; Steffey, Kenneth, Longwood, US; Hoffer, John M., Strasburg, US; Bridges, Robert E., Kennett Square, US

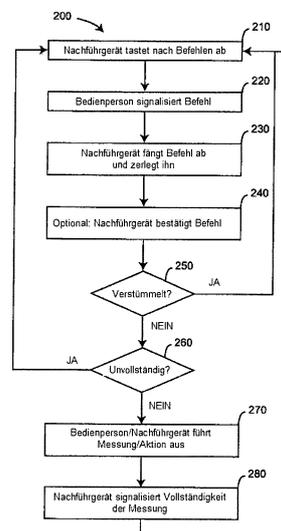
(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Verwendung von Gesten zur Steuerung eines Lasernachführgeräts**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur optischen Übermittlung eines Befehls zur Steuerung des Betriebs des Lasernachführgerätes (10) von einem Nutzer zu einem Lasernachführgerät (10) in Schritten, die Folgendes umfassen:

- Bereitstellen einer Korrespondenzvorschrift zwischen einem jeden aus einer gewissen Anzahl von Befehlen und einem jeden aus einer gewissen Anzahl von räumlichen Mustern;
- Auswählen eines ersten Befehls aus der gewissen Anzahl von Befehlen durch den Nutzer;
- Bewegen eines Rückstrahlers (26) in einem ersten räumlichen Muster aus einer gewissen Anzahl von räumlichen Mustern durch den Nutzer zwischen einem ersten und einem zweiten Zeitpunkt, wobei das erste räumliche Muster dem ersten Befehl entspricht;
- Projizieren eines ersten Lichtsignals (46) vom Lasernachführgerät (10) auf den Rückstrahler (26);
- Reflektieren eines zweiten Lichtsignals vom Rückstrahler (26), wobei dieses zweite Lichtsignal ein Teil des ersten Lichtsignals (46) ist;
- Erhalten von ersten erfassten Daten durch das Erfassen eines dritten Lichtsignals, wobei dieses dritte Lichtsignal ein Teil des zweiten Lichtsignals ist und wobei die ersten erfassten Daten vom Lasernachführgerät (10) zwischen dem ersten und dem zweiten Zeitpunkt erhalten werden;
- Festlegen des ersten Befehls, der zumindest teilweise auf der Verarbeitung der ersten erfassten Daten entsprechend der Korrespondenzvorschrift beruht und

– Ausführen des ersten Befehls mit dem Lasernachführgerät (10).



(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	6 295 174	B1
US	6 462 810	B1
US	6 587 244	B1
US	7 022 971	B2
US	7 230 689	B2
US	7 304 729	B2
US	7 352 446	B2
US	7 423 742	B2
US	7 552 539	B2
US	2008 / 0 229 592	A1
US	2009 / 0 171 618	A1
US	6 034 722	A
US	6 023 326	A
US	6 133 998	A
US	5 313 409	A
WO	2007/ 079 601	A1

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Koordinatenmessvorrichtung. Eine Gruppe von Koordinatenmessvorrichtungen gehört zur Klasse derjenigen Instrumente, welche die dreidimensionalen Koordinaten (3D-Koordinaten) eines Punktes in der Weise messen, dass sie einen Laserstrahl zu diesem Punkt schicken, wo er durch ein rückstrahlendes Zielobjekt aufgefangen wird. Das Instrument findet die Koordinaten dieses Punktes durch Messung der Entfernung zum Zielobjekt und der zwei Winkel. Diese Entfernung wird mit einem Entfernungsmessgerät wie beispielsweise einem Absolut-Entfernungsmesser (ADM) oder einem Interferometer gemessen. Die Winkel werden mit einer Winkelmessvorrichtung wie beispielsweise einem Winkelkodierer gemessen. Ein kardanisch aufgehängter Strahlsteuermechanismus im Innern des Instruments richtet den Laserstrahl auf den interessierenden Punkt. Ein Beispiel für eine solche Vorrichtung ist ein Lasernachführgerät. Exemplarische Systeme mit Lasernachführgeräten werden in US 4 790 651 A und US 4 714 339 A beschrieben.

[0002] Eine Koordinatenmessvorrichtung, die eng mit dem Lasernachführgerät verwandt ist, ist die Gesamtstation. Die Gesamtstation, die am häufigsten bei Anwendungsfällen auf dem Gebiet der Vermessung zum Einsatz gelangt, kann benutzt werden, um die Koordinaten von diffus streuenden oder rückstrahlenden Zielobjekten zu messen. Nachfolgend wird der Ausdruck Lasernachführgerät in einem weiten Sinne benutzt, um die Gesamtstationen einzubeziehen.

[0003] Gewöhnlich schickt das Lasernachführgerät einen Laserstrahl zu einem rückstrahlenden Zielobjekt. Ein üblicher Typ von Rückstrahl-Zielobjekt ist der sphärisch montierte Rückstrahler (SMR), der einen Eckwürfel-Rückstrahler umfasst, der in eine Metallkugel eingebettet ist. Dieser Eckwürfel-Rückstrahler umfasst drei zueinander rechtwinklige Spiegel. Die Spitze des Eckwürfels, welcher der gemeinsame Schnittpunkt der drei Spiegel ist, befindet sich im Mittelpunkt der Kugel. Es ist in der Praxis allgemein üblich, die kugelige Fläche des SMR mit einem zu prüfenden Objekt in Kontakt zu bringen und dann den SMR über die zu messende Oberfläche zu bewegen. Aufgrund dieser Anordnung des Eckwürfels im Innern der Kugel bleibt der rechtwinklige Abstand von der Spitze des Eckwürfels zur Oberfläche des zu prüfenden Objekts trotz der Drehung des SMR konstant. Folglich können die 3D-Koordinaten einer Fläche dadurch gefunden werden, dass man ein Nachführgerät den 3D-Koordinaten eines über die Oberfläche bewegten SMR folgen lässt. Es ist möglich, auf die Oberseite des SMR ein Glasfenster zu bringen, um zu verhindern, dass Staub oder Schmutz die

Glasoberflächen verunreinigen. Ein Beispiel für eine derartige Glasoberfläche ist in US 7 388 654 B2 beschrieben.

[0004] Ein kardanisch aufgehängter Mechanismus im Innern des Lasernachführgeräts kann dazu benutzt werden, um einen Laserstrahl vom Nachführgerät auf den SMR zu richten. Ein Teil des vom SMR rückgestrahlten Lichtes tritt in das Lasernachführgerät ein und gelangt weiter zu einem Lagegeber. Die Position des Lichts, welches auf den Lagegeber trifft, wird von einem Steuersystem des Nachführgerätes benutzt, um die Drehwinkel der mechanischen Azimut- und Zenitachse des Lasernachführgerätes einzustellen, damit der Laserstrahl auf den SMR zentriert gehalten wird. Auf diese Weise ist das Nachführgerät imstande, dem SMR zu folgen (d. h. dem SMR nachgeführt zu werden).

[0005] Winkelkodierer, die an der mechanischen Azimut- und Zenitachse des Nachführgerätes angebracht sind, können die Azimut- und Zenitwinkel des Laserstrahls (in Bezug auf den Bezugsrahmen des Nachführgerätes) messen. Die eine Entfernungsmessung und die zwei Winkelmessungen, die von dem Lasernachführgerät durchgeführt werden, sind ausreichend, um den dreidimensionalen Ort des SMR vollständig zu spezifizieren.

[0006] Wie bereits weiter oben erwähnt worden ist, können bei den Lasernachführgeräten zwei Typen von Entfernungsmessern vorgefunden werden: Interferometer und Absolut-Entfernungsmesser (ADM). In dem Lasernachführgerät kann ein Interferometer (falls vorhanden) die Entfernung von einem Ausgangspunkt bis zu einem Endpunkt durch Abzählen der Anzahl von Inkrementen bekannter Länge festlegen (gewöhnlich die halbe Wellenlänge des Laserlichts), die hindurchgehen, während ein Rückstrahler-Zielobjekt zwischen den zwei Punkten bewegt wird. Falls der Strahl während der Messung unterbrochen wird, kann die Anzahl der Zählwerte nicht genau bestimmt werden, was bewirkt, dass die Abstandsinformation verloren geht. Im Vergleich dazu ermittelt der ADM in einem Lasernachführgerät den absoluten Abstand zu einem Rückstrahler-Zielobjekt ohne Rücksicht auf Strahlunterbrechungen, was es auch ermöglicht, zwischen Zielobjekten umzuschalten. Deswegen sagt man auch, dass der ADM zur „Ziel- und-Schuss“-Messung imstande ist. Anfangs waren die Absolut-Entfernungsmesser lediglich imstande, stationäre Zielobjekte zu messen, und aus diesem Grund wurden sie stets zusammen mit einem Interferometer benutzt. Jedoch können einige moderne Absolut-Entfernungsmesser schnelle Messungen ausführen, wodurch die Notwendigkeit eines Interferometers in Wegfall gerät. Ein derartiger ADM wird in US 7 352 446 B2 beschrieben.

[0007] In seinem Nachführmodus wird das Lasernachführgerät automatisch den Bewegungen des SMR folgen, wenn der SMR sich im Fangbereich des Nachführgeräts befindet. Falls der Laserstrahl unterbrochen wird, hört das Nachführen auf. Der Strahl kann durch irgendeines von mehreren Mitteln unterbrochen werden: (1) durch ein Hindernis zwischen dem Instrument und dem SMR, (2) durch schnelle Bewegungen des SMR, die für das Instrument zu schnell sind, um nachzuführen zu können, oder (3) die Richtung des SMR wird über den Einfangwinkel des SMR hinaus gedreht. Durch Vorgabe bleibt nach einer Unterbrechung des Strahls dieser Strahl auf den Punkt der Strahlunterbrechung oder auf die durch Befehl gegebene Position fixiert. Für eine Bedienperson kann es erforderlich sein, nach dem Nachführstrahl zu suchen und den SMR in den Strahl zu bringen, damit das Instrument auf den SMR aufsynchronisiert und das Nachführen fortgesetzt wird.

[0008] Einige Lasernachführgeräte umfassen eine oder mehrere Kameras. Eine Kameraachse kann zum Messstrahl koaxial verlaufen oder zum Messstrahl um einen festen Abstand oder Winkel versetzt liegen. Eine Kamera kann benutzt werden, um ein breites Gesichtsfeld zu liefern, damit die Rückstrahler geortet werden können. Eine nahe an der optischen Achse der Kamera angebrachte modulierte Lichtquelle kann die Rückstrahler beleuchten, wodurch sie leichter identifiziert werden können. Auf diese Weise blitzen die Rückstrahler in gleicher Phase mit der Beleuchtung, was Objekte im Hintergrund nicht tun. Ein Anwendungsfall für eine derartige Kamera ist das Auffinden von multiplen Rückstrahlern im Gesichtsfeld und das Messen eines jeden in einer automatischen Abfolge. Exemplarische Systeme sind in US 6 166 809 A und in US 7 800 758 B1 beschrieben.

[0009] Einige Lasernachführgerät sind imstande, mit sechs Freiheitsgraden (FG) zu messen, zu denen die drei Koordinaten wie x, y und z und die drei Rotationen wie Neigen, Drehen und Schwenken gehören. Zur Messung von sechs Freiheitsgraden sind mehrere auf Lasernachführgeräten beruhende Systeme verfügbar oder sind vorgeschlagen worden. Exemplarische Systeme sind beschrieben in US 2010/0128259 A1, US 7 800 758 B1, US 5 973 788 A und US 7 230 689 B2.

Steuerung der Funktionalität von Lasernachführgeräten durch den Benutzer

[0010] Zwei übliche Betriebsmodi des Lasernachführgerät sind der Nachführmodus und der Profiliermodus. Beim Nachführmodus folgt der Laserstrahl vom Nachführgerät dem Rückstrahler, während die Bedienperson diesen irgendwie bewegt. Beim Profiliermodus fällt der Laserstrahl vom Nachführgerät entweder durch Computerbefehle oder manuelles

Einwirken in die von der Bedienperson vorgegebene Richtung.

[0011] Neben diesen Betriebsmodi, mit welchen das grundlegende Nachführ- und Zielverhalten des Nachführgerätes gesteuert wird, gibt es noch spezielle Wahlmodi, die das Nachführgerät in die Lage versetzen, auf eine Art und Weise zu reagieren, die von der Bedienperson schon vorher ausgewählt wird. Der gewünschte Wahlmodus wird typischerweise in der Software ausgewählt, die das Lasernachführgerät steuert. Derartige Software kann in einem externen Computer untergebracht sein, der am Nachführgerät angebracht ist (möglicherweise über ein Netzkabel), oder in dem Nachführgerät selbst. Im letzteren Fall kann der Zugang zur Software über die in das Nachführgerät eingebaute Konsolenfunktionalität erfolgen.

[0012] Ein Beispiel für einen Wahlmodus ist der Modus ‚Auto Reset‘ zur automatischen Rücksetzung, mit dem der Laserstrahl immer dann auf einen voreingestellten Bezugspunkt gelenkt wird, wenn der Laserstrahl unterbrochen wird. Ein weit verbreiteter Bezugspunkt für den Modus Auto Reset ist die als Home Position bezeichnete Ruhestellung des Nachführgerätes, das die Position eines magnetischen Nestes ist, das an den Körper des Nachführgerätes angebaut ist. Die Alternative zum Modus Auto Reset ist der Wahlmodus No Reset (keine Rücksetzung). In diesem Fall ist der Laserstrahl weiterhin in die ursprüngliche Richtung gelenkt, wann auch immer der Laserstrahl unterbrochen wird. Eine Beschreibung der Home Position des Nachführgerätes befindet sich in US 7 327 446 B2.

[0013] Ein weiteres Beispiel für einen speziellen Wahlmodus ist der Modus des PowerLock. Beim Modus PowerLock wird der Ort des Rückstrahlers auch dann durch die Kamera des Nachführgerätes gefunden, wenn der Nachführlaserstrahl unterbrochen ist. Die Kamera sendet unverzüglich die Winkelkoordinaten des Rückstrahlers an das Steuerungssystem des Nachführgerätes, wodurch bewirkt wird, dass das Nachführgerät den Laserstrahl zurück zum Rückstrahler lenkt. Verfahren, welche die automatische Erfassung eines Rückstrahlers zum Inhalt haben, sind in der WO 2007/079601 A1 und in US 7 055 253 B2 angeführt.

[0014] Einige Wahlmodi sind in ihrem Betrieb doch etwas komplexer. Ein Beispiel ist der Modus des Stabilitätskriteriums, der immer dann aufgerufen werden kann, wenn ein SMR für eine gewisse Zeitspanne stationär ist. Die Bedienperson kann einen SMR zu einem magnetischen Nest führen und ihn dort ablegen. Wenn ein Stabilitätskriterium aktiv ist, wird die Software beginnen, nach der Stabilität der dreidimensionalen Koordinatenablesewerte des Nachführgerätes zu suchen. Zum Beispiel kann der Benutzer ent-

scheiden, dass der SMR dann als stabil eingestuft wird, wenn die Spitze-Spitze-Abweichung der erfassten Entfernungswerte des SMR über ein Zeitintervall von einer Sekunde kleiner als zwei Mikrometer ist. Nachdem das Stabilitätskriterium eingehalten worden ist, misst das Nachführgerät die 3D-Koordinaten und die Software zeichnet die Daten auf.

[0015] Komplexere Betriebsmodi sind durch Computerprogramme möglich. Es ist zum Beispiel Software verfügbar, um Oberflächen von Teilen zu messen und diese an geometrische Gestalten anzufügen. Die Software wird der Bedienperson Instruktionen erteilen, den SMR über die Oberfläche zu bewegen dann, wenn das Sammeln der Datenpunkte beendet ist, den SMR von der Fläche des Gegenstandes abheben, damit die Messung beendet wird. Das Wegbewegen des SMR von der Oberfläche gibt nicht nur an, dass die Messung abgeschlossen ist, sie gibt auch die Position des SMR in Bezug auf die Oberfläche des Objekts an. Diese Positionsinformation wird von der Anwendungssoftware benötigt, damit die vom Radius des SMR bewirkte Versetzung einwandfrei berücksichtigt werden kann.

[0016] Ein zweites Beispiel für eine komplexe Computersteuerung ist eine Vermessung mit Nachführgerät. Bei dieser Vermessung wird das Nachführgerät sequentiell an jeden von mehreren Orten des Zielobjekts gemäß einem vorher festgelegten Plan geführt. Die Bedienperson kann diese Positionen vor der Vermessung in der Weise programmieren, indem sie den SMR an jede der gewünschten Positionen bringt.

[0017] Ein drittes Beispiel für eine komplexe Softwaresteuerung ist die vom Nachführgerät gelenkte Messung. Die Software weist die Bedienperson an, den SMR an eine gewünschte Stelle zu bewegen. Dies erfolgt unter Verwendung einer grafischen Anzeige, um die Richtung und die Entfernung zu der gewünschten Stelle anzuzeigen. Wenn die Bedienperson sich an der gewünschten Position befindet, kann sich die Farbe auf dem Monitor des Computers zum Beispiel von Rot zu Grün verändern.

[0018] Die Eigenschaft, die allen weiter oben beschriebenen Aktionen des Nachführgerätes gemeinsam ist, liegt darin, dass die Bedienperson in ihrer Fähigkeit, das Verhalten des Nachführgerätes zu steuern, eingeschränkt ist. Andererseits können Wahlmodi, die in der Software ausgewählt sind, die Bedienperson in die Lage versetzen, manche Verhaltensweisen des Nachführgerätes vorher einzustellen. Wenn jedoch die Wahlmodi vom Nutzer erst einmal ausgewählt sind, dann ist das Verhalten des Nachführgerätes festgelegt und kann solange nicht geändert werden, bis die Bedienperson zur Computerkonsole zurückkehrt. Andererseits kann das Computerprogramm die Bedienperson anweisen, komplizierte Arbeitsgänge auszuführen, welche die Software auf

eine ausgeklügelte Weise analysiert. In jedem Fall ist die Bedienperson in ihrer Fähigkeit eingeschränkt, das Nachführgerät und die vom Nachführgerät gesammelten Daten zu steuern.

Notwendigkeit für Fernsteuerbefehle an das Nachführgerät

[0019] Die Bedienperson eines Lasernachführgerätes führt zwei fundamentale Funktionen aus. Sie positioniert ein SMR während einer Messung, und sie sendet Befehle über den Steuercomputer an das Nachführgerät. Für eine Bedienperson ist es jedoch nicht einfach, diese beiden Messfunktionen auszuführen, da sich der Computer gewöhnlich weit weg von der Stelle der Messung befindet. Verschiedene Verfahren sind probiert worden, diese Einschränkung zu umgehen, aber keines ist völlig zufriedenstellend.

[0020] Ein Verfahren, das gelegentlich benutzt wird, besteht für eine einzelne Bedienperson darin, den Rückstrahler an Ort und Stelle zu platzieren und zur Bedientastatur des Instruments zurückzukehren, um die Messanweisung auszuführen. Dies ist jedoch ein ineffizienter Aufwand hinsichtlich der Zeit für die Bedienperson und das Instrument. In Fällen, in denen die Bedienperson den Rückstrahler für die Messung halten muss, ist eine Steuerung mit einer einzelnen Bedienperson nur möglich, wenn sich die Bedienperson sehr nahe an der Tastatur befindet.

[0021] Ein zweites Verfahren beruht darauf, eine zweite Bedienperson einzubeziehen. Eine Bedienperson steht am Computer und die zweite Bedienperson bewegt den SMR. Dies ist offensichtlich ein aufwendiges Verfahren, und die verbale Kommunikation über große Entfernungen kann zum Problem werden.

[0022] Ein drittes Verfahren beruht darauf, ein Lasernachführgerät mit einer Fernsteuerung auszustatten. Fernsteuerungen weisen jedoch mehrere Einschränkungen auf. Viele Anlagen lassen aus verschiedenen Sicherheitsgründen den Einsatz von Fernsteuerungen gar nicht zu. Selbst wenn Fernsteuerungen möglich sind, können Interferenzerscheinungen zwischen Funkkanälen zum Problem werden. Einige Fernsteuersignale erreichen nicht den vollen Bereich des Lasernachführgerätes. In einigen Situationen, wie beispielsweise beim Arbeiten von einer Leiter aus, kann die zweite Hand nicht frei sein, um die Fernsteuerung zu bedienen. Bevor eine Fernsteuerung eingesetzt werden kann, ist es üblicherweise erforderlich, den Computer und die Fernsteuerung so einzustellen, dass sie zusammenwirken, und dann kann zu irgendeiner gegebenen Zeit nur auf eine kleine Teilmenge an Befehlen für das Nachführgerät zurückgegriffen werden. Ein Beispiel für ein System, das auf diesem Gedanken beruht, ist in US 7 233 316 B2 angeführt.

[0023] Ein viertes Verfahren beruht darauf, ein Mobilfunktelefon an ein Lasernachführgerät anzukoppeln. Befehle werden aus der Ferne eingegeben, indem das Instrument vom Mobilfunktelefon aus angerufen wird und Ziffern von der Tastatur des Mobilfunktelefons aus eingegeben werden oder Mittel der Stimmenterkennung eingesetzt werden. Dieses Verfahren weist auch viele Nachteile auf. Einige Anlagen erlauben nicht den Einsatz von Mobilfunktelefonen, und es kann passieren, dass in ländlichen Gegenden Mobilfunktelefone nicht verfügbar sind. Eine Mobilfunk-Schnittstelle erfordert zusätzliche Hardware-Schnittstellen am Computer oder am Lasernachführgerät: Die Technologie des Mobilfunks ändert sich rasch und kann Upgrades erforderlich machen. Wie auch im Fall der Fernsteuerungen müssen der Computer und die Fernsteuerung auf Zusammenarbeit eingestellt werden, und es kann zu einer gegebenen Zeit gewöhnlich nur auf eine kleine Teilmenge an Befehlen für das Nachführgerät zurückgegriffen werden.

[0024] Ein fünftes Verfahren beruht darauf, ein Lasernachführgerät mit den Möglichkeiten des Internet oder des Funknetzes auszustatten und einen drahtlosen tragbaren Computer oder einen persönlichen digitalen Assistenten (PDA) einzusetzen, um die Befehle an das Lasernachführgerät zu übermitteln. Dieses Verfahren hat jedoch ähnliche Einschränkungen wie das Mobilfunktelefon. Dieses Verfahren wird häufig bei Gesamtstationen eingesetzt. Zu Beispielen von Systemen, die dieses Verfahren benutzen, gehören US 2009/0171618 A1, US 6 034 722 A, US 7 423 742 B2, US 7 307 710 B2, US 7 552 539 B2 und US 6 133 998 A. Dieses Verfahren ist auch dazu benutzt worden, Apparaturen nach einem Verfahren zu steuern, das in US 7 541 965 B2 beschrieben ist.

[0025] Ein sechstes Verfahren beruht darauf, ein Zeigergerät zu benutzen, um eine bestimmte Stelle anzugeben, an der eine Messung durchgeführt werden soll. Ein Beispiel für dieses Verfahren ist in US 7 022 971 B2 angeführt. Es könnte möglich sein, dieses Verfahren anzupassen, um an ein Lasernachführgerät Befehle zu geben, aber es ist üblicherweise nicht sehr einfach, eine geeignete Stelle zu finden, auf die das Strahlmuster des Zeigergeräts projiziert werden soll.

[0026] Ein siebentes Verfahren beruht darauf, eine komplexe Struktur des Zielobjekts zu entwerfen, die mindestens einen Rückstrahler, einen Sender und einen Empfänger umfasst. Derartige Systeme können bei Gesamtstationen benutzt werden, um genaue Zielinformationen an die Bedienperson zu übertragen und auch Informationen des Globalen Positioniersystems (GPS) an die Gesamtstation zu übertragen. Ein Beispiel für ein solches System ist in der US 2008/0229592 A1 angeführt. In diesem Fall ist kein Verfahren vorhanden, das die Bedienperson in

die Lage versetzt, Befehle an die Messvorrichtung (Gesamtstation) zu senden.

[0027] Ein achttes Verfahren beruht darauf, eine komplexe Struktur des Zielobjekts zu entwerfen, die mindestens einen Rückstrahler, einen Sender und einen Empfänger umfasst, wobei der Sender dazu imstande ist, modulierte Lichtsignale an eine Gesamtstation zu senden. Ein Tastaturfeld kann benutzt werden, um Befehle an die Gesamtstation mit Hilfe des modulierten Lichts zu senden. Diese Befehle werden von der Gesamtstation dekodiert. Beispiele für derartige Systeme sind in US 6 023 326 A, US 6 462 810 B1, US 6 295 174 B1 und US 6 587 244 B1 angeführt. Dieses Verfahren ist insbesondere für Anwendungen bei der Vermessung geeignet, bei denen das komplexe Zielobjekt und das Tastaturfeld auf eine große Stange montiert sind. Ein solches Verfahren ist nicht für den Einsatz mit einem Lasernachführgerät geeignet, bei dem es von Vorteil ist, ein kleines Zielobjekt einzusetzen, das nicht an ein großes Steuerfeld gebunden ist. Auch ist es erwünscht, die Möglichkeit zu haben, Befehle zu senden, selbst wenn das Nachführgerät nicht auf ein Rückstrahler-Zielobjekt aufsynchronisiert ist.

[0028] Ein neuntes Verfahren beruht darauf, sowohl einen drahtlosen Sender als auch eine modulierte Lichtquelle beim Zielobjekt einzubeziehen, um an eine Gesamtstation Informationen zu senden. Der drahtlose Sender sendet primär Informationen über die Winkelstellung des Zielobjekts, so dass die Gesamtstation sich in die richtige Richtung drehen kann, um ihren Laserstrahl zum Rückstrahler des Zielobjekts zu senden. Die modulierte Lichtquelle befindet sich in der Nähe des Rückstrahlers, so dass sie vom Detektor in der Gesamtstation aufgenommen wird. Auf diese Weise kann die Bedienperson sicher sein, dass die Gesamtstation in die richtige Richtung zeigt, wodurch falsche Reflexionen vermieden werden, die nicht vom Rückstrahler des Zielobjekts kommen. Ein exemplarisches System, das auf dieser Herangehensweise beruht, ist in US 5 313 409 A angeführt. Dieses Verfahren bietet nicht die Möglichkeit, Befehle allgemeiner Art an ein Lasernachführgerät zu senden.

[0029] Ein zehntes Verfahren beruht darauf, eine Kombination aus einem drahtlosen Sender, einer Kompassanordnung sowohl im Zielobjekt als auch in der Gesamtstation und einem Sender für Leitlicht einzubeziehen. Die Kompassanordnung im Zielobjekt und in der Gesamtstation werden benutzt, um die Ausrichtung des Azimutwinkels der Gesamtstation zum Zielobjekt zu ermöglichen. Der Leitlichtsender ist ein horizontaler fächerförmiger Lichtstrahl, den das Zielobjekt in die vertikale Richtung schwenken kann, bis in der Gesamtstation ein Signal vom Detektor aufgenommen wird. Sobald das Leitlicht auf den Detektor zentriert worden ist, stellt die Gesamtstation

ihre Orientierung geringfügig nach, um das rückgestrahlte Signal zu maximieren. Der drahtlose Sender überträgt Informationen, die von der Bedienperson auf einem am Zielobjekt befindlichen Tastaturfeld eingegeben werden. Ein exemplarisches System, das auf diesem Verfahren beruht, ist in US 7 304 729 B2 angeführt. Dieses Verfahren bietet nicht die Möglichkeit, Befehle allgemeiner Art an ein Lasernachführgerät zu senden.

[0030] Ein elftes Verfahren beruht darauf, dass der Rückstrahler so abgewandelt wird, dass er in die Lage versetzt wird, dem rückgestrahlten Licht eine zeitliche Modulation aufzuprägen, wodurch die Datenübermittlung erfolgt. Dieser erfinderische Rückstrahler umfasst einen Eckwürfel mit einer abgestumpften Spitze, einen an der Vorderseite des Eckwürfels angebrachten optischen Schalter und die entsprechende Elektronik zum Senden oder Empfangen von Daten. Ein exemplarisches System dieses Typs ist in US 5 121 242 A angeführt. Dieser Typ von Rückstrahler ist komplex und aufwendig. Er beeinträchtigt die Qualität des rückgestrahlten Lichtes wegen des Schalters (der ein ferroelektrisches kristallines Material sein könnte) und wegen der abgestumpften Spitze. Auch ist das Licht, das zu einem Lasernachführgerät zurückgeführt wird, zwecks seiner Verwendung zur Messung des ADM-Strahls bereits moduliert, und das Ein- und das Ausschalten des Lichts wird gewöhnlich zum Problem nicht nur für den ADM, sondern auch für das Interferometer des Nachführgerätes und den Lagegeber.

[0031] Ein zwölftes Verfahren beruht darauf, eine Messvorrichtung zu benutzen, die in zwei Richtungen arbeitende Sender für die Kommunikation mit einem Zielobjekt und einen aktiven Rückstrahler zur Unterstützung der Identifizierung des Rückstrahlers umfasst. Der Zweirichtungssender kann auf Funk beruhen oder optisch sein und ist Teil einer komplexen Zielstange, die den Rückstrahler, den Sender und die Steuereinheit umfasst. Ein exemplarisches System dieses Typs ist in US 5 828 057 A angeführt. Ein derartiges Verfahren ist nicht für den Einsatz mit einem Lasernachführgerät geeignet, bei dem es von Vorteil ist, ein kleines Zielobjekt zu benutzen, das nicht an ein großes Steuerfeld gebunden ist. Auch ist das Verfahren zur Identifizierung des in Frage kommenden Rückstrahler-Zielobjekts kompliziert und aufwendig.

[0032] Es besteht also Bedarf an einem einfachen Verfahren für eine Bedienperson, Befehle an ein Lasernachführgerät aus einer gewissen Entfernung zu übermitteln. Es ist erwünscht, dass das Verfahren die folgenden Eigenschaften aufweist: (1) Einsetzbarkeit ohne eine zweite Bedienperson, (2) Einsetzbarkeit über den gesamten Bereich des Lasernachführgerätes, (3) Einsetzbarkeit ohne zusätzliche Hardware-Schnittstellen, (4) Funktionalität an allen Stellen, (5) Entfall von Gebühren für Provider von Dienstleistungen,

(6) Wegfall von Einschränkungen durch Sicherheitsbelange, (7) Leichtigkeit in der Benutzung ohne zusätzliche Einstellungen oder Programmierung, (8) Fähigkeit zur Initiierung eines weiten Bereichs von einfachen und komplexen Befehlen für das Nachführgerät, (9) Einsetzbarkeit zum Aufrufen eines Nachführgerätes zu einem besonderen Zielobjekt unter einer gewissen Anzahl von Zielobjekten und (10) die Einsetzbarkeit mit einem Mindestmaß an zusätzlicher Ausrüstung, welche die Bedienperson zu bedienen hat.

Zusammenfassung

[0033] Ein Verfahren zur optischen Übermittlung eines Befehls zur Steuerung des Betriebs des Lasernachführgerätes von einem Nutzer zu einem Lasernachführgerät umfasst die Schritte der Bereitstellung einer Korrespondenzvorschrift zwischen einem jeden aus einer gewissen Anzahl von Befehlen und einem jeden aus einer gewissen Anzahl von räumlichen Mustern und der Auswahl eines ersten Befehls aus der gewissen Anzahl von Befehlen durch den Nutzer. Das Verfahren umfasst außerdem die Schritte des Bewegens eines Rückstrahlers in einem ersten räumlichen Muster aus der gewissen Anzahl von räumlichen Mustern durch den Nutzer zwischen einem ersten und einem zweiten Zeitpunkt, wobei das räumliche Muster vom Nutzer ausgeführt wird und das erste räumliche Muster dem ersten Befehl entspricht, und des Projizierens eines ersten Lichtsignals vom Lasernachführgerät auf den Rückstrahler. Das Verfahren umfasst auch die Schritte des Reflektierens eines zweiten Lichtsignals vom Rückstrahler, wobei dieses zweite Lichtsignal ein Teil des ersten Lichtsignals ist, und des Erhaltens von ersten erfassten Daten durch Erfassen eines dritten Lichtsignals mit dem Lasernachführgerät zwischen dem ersten und dem zweiten Zeitpunkt, wobei dieses dritte Lichtsignal ein Teil des zweiten Lichtsignalanteils an dem Licht ist, das vom Rückstrahler reflektiert wird, wobei die ersten erfassten Daten vom Lasernachführgerät zwischen dem ersten und dem zweiten Zeitpunkt erhalten werden. Das Verfahren umfasst auch die Schritte der Festlegung des ersten Befehls, der zumindest teilweise auf der Verarbeitung der ersten erfassten Daten gemäß der Korrespondenzvorschrift beruht, um den Befehl festzulegen, und der Ausführung des ersten Befehls mit dem Lasernachführgerät.

Kurze Beschreibung des Zeichnungssatzes

[0034] Es soll nun auf die Zeichnungen Bezug genommen werden, in denen gleiche Bauteile in den Abbildungen dieselben Ziffern tragen.

[0035] Fig. 1 zeigt eine Perspektivansicht eines exemplarischen Lasernachführgerätes;

[0036] Fig. 2 zeigt die an dem exemplarischen Lasernachführgerät angebrachten Computer-Bauteile und Stromversorgungsbauteile;

[0037] Fig. 3A–Fig. 3E veranschaulichen Wege, wie ein passives Zielobjekt benutzt werden kann, um gestengestützte Informationen über das Nachführ- und Messsystem des Lasernachführgerätes zu befördern;

[0038] Fig. 4A–Fig. 4C veranschaulichen Wege, wie ein passives Zielobjekt benutzt werden kann, um gestengestützte Informationen über das Kamerasystem eines Lasernachführgerätes zu befördern;

[0039] Fig. 5A–Fig. 5D veranschaulichen Wege, wie ein aktives Zielobjekt benutzt werden kann, um gestengestützte Informationen über das Kamerasystem eines Lasernachführgerätes zu befördern;

[0040] Fig. 6 ist ein Ablaufschema, das die Schritte zeigt, die von der Bedienperson und dem Lasernachführgerät bei der Ausgabe und der Durchführung eines gestengestützten Befehls ausgeführt werden;

[0041] Fig. 7 ist ein Ablaufschema, das die optionalen und die erforderlichen Teile eines gestengestützten Befehls zeigt;

[0042] Fig. 8–Fig. 10 zeigen eine Auswahl von Befehlen für Lasernachführgeräte und die entsprechenden Gesten, das von der Bedienperson benutzt werden könnten, um diese Befehle zum Lasernachführgerät zu befördern;

[0043] Fig. 11A–Fig. 11F zeigen alternative Typen von Gesten, die eingesetzt werden könnten;

[0044] Fig. 12 zeigt eine Tafel exemplarischer Befehle zur Übertragung von Befehlen an ein Lasernachführgerät mit Hilfe von Gesten;

[0045] Fig. 13 zeigt ein exemplarisches Verfahren zum Einsatz von Gesten zum Einstellen eines Bezugspunktes eines Nachführgerätes;

[0046] Fig. 14 zeigt ein exemplarisches Verfahren zum Einsatz von Gesten zur Initialisierung der Tafel der exemplarischen Befehle, und

[0047] Fig. 15 zeigt ein exemplarisches Verfahren zum Einsatz von Gesten zum Messen eines Kreises;

[0048] Fig. 16 zeigt ein exemplarisches Verfahren zum Einsatz von Gesten, um einen Rückstrahler mit einem Laserstrahl von einem Lasernachführgerät aus zu erreichen;

[0049] Fig. 17 zeigt ein exemplarisches Elektronik- und Verarbeitungssystem in Verbindung mit einem Lasernachführgerät;

[0050] Fig. 18 zeigt eine exemplarische Geometrie, die das Auffinden von dreidimensionalen Koordinaten auf einem Zielobjekt unter Einsatz einer Kamera ermöglicht, die sich nicht auf der optischen Achse eines Lasernachführgerätes befindet;

[0051] Fig. 19 zeigt ein exemplarisches Verfahren zur Übermittlung eines Befehls an ein Lasernachführgerät durch Ausführen von Gesten mit einem Rückstrahler in einem räumlichen Muster;

[0052] Fig. 20 zeigt ein exemplarisches Verfahren zur Übermittlung eines Befehls an ein Lasernachführgerät durch Angabe einer Position mit einem Rückstrahler;

[0053] Fig. 21 zeigt ein exemplarisches Verfahren zur Übermittlung eines Befehls an ein Lasernachführgerät durch Ausführen von Gesten mit einem Rückstrahler in einem zeitlichen Muster;

[0054] Fig. 22 zeigt ein exemplarisches Verfahren zur Übermittlung eines Befehls an ein Lasernachführgerät durch Messung einer Änderung in der Pose eines Zielobjekts mit sechs Freiheitsgraden mit einem 6-FG-Lasernachführgerät;

[0055] Fig. 23 zeigt ein exemplarisches Verfahren zur Übermittlung eines Befehls zum Richten des Laserstrahl vom Lasernachführgerät zu einem Rückstrahler und Verriegeln auf den Rückstrahler, wobei die Übermittlung auf einer Geste beruht, die ein mit dem Rückstrahler erzeugtes räumliches Muster enthält;

[0056] Fig. 24 zeigt ein exemplarisches Verfahren zur Übermittlung eines Befehls zum Richten des Laserstrahl vom Lasernachführgerät zu einem Rückstrahler und Verriegeln auf den Rückstrahler, wobei die Übermittlung auf einer Geste beruht, die ein zeitliches Muster in der optischen Leistung enthält, die von dem Lasernachführgerät aufgenommen wird; und

[0057] Fig. 25 zeigt ein exemplarisches Verfahren zur Übermittlung eines Befehls zum Richten des Laserstrahl vom Lasernachführgerät zu einem Rückstrahler und Verriegeln auf den Rückstrahler, wobei die Übermittlung auf einer Geste beruht, die eine Änderung in der Pose einer Sonde mit sechs Freiheitsgraden enthält.

Ausführliche Beschreibung von bevorzugten Ausführungsformen

[0058] Ein exemplarisches Lasernachführgerät **10** ist in Fig. 1 veranschaulicht. Ein exemplarischer

kardanisch aufgehängter Strahlsteuermechanismus **12** des Lasernachführgerätes **10** umfasst den Zenitschlitten **14**, der auf die Azimutbasis **16** montiert ist und sich um die Azimutachse **20** dreht. Die Nutzlast **15** ist an den Zenitschlitten **14** montiert und dreht sich um die Zenitachse **18**. Die mechanische Zenit-Drehachse **18** und die mechanische Azimut-Drehachse **20** schneiden sich orthogonal im Innern des Nachführgerätes **10**, und zwar in dem Punkt der kardanischen Aufhängung **22**, der für den Ausgangspunkt für die Entfernungsmessungen typisch ist. Der Laserstrahl **46** läuft virtuell durch den kardanischen Aufhängungspunkt **22** und ist orthogonal zur Zenitachse **18** gerichtet. Mit anderen Worten liegt der Laserstrahl **46** in der Ebene normal zur Zenitachse **18**. Der Laserstrahl **46** wird in die gewünschte Richtung gelenkt durch (nicht dargestellte) Motoren im Innern des Nachführgerätes, welche die Nutzlast **15** um die Zenitachse **18** und die Azimutachse **20** drehen. Zenit- und Azimut-Winkelkodierer, die sich im Innern des Nachführgerätes befinden und nicht dargestellt sind, sind an der mechanischen Zenitachse **18** und der mechanischen Azimutachse **20** angebracht und geben mit hoher Genauigkeit die Drehwinkel an. Der Laserstrahl **46** bewegt sich zum äußeren Rückstrahler **26** so wie der weiter vorn beschriebene sphärisch montierte Rückstrahler (SMR). Durch Messung des radialen Abstandes zwischen dem kardanischen Aufhängungspunkt **22** und dem Rückstrahler **26** und der Rotationswinkel um die Zenit- und die Azimutachse **18**, **20** wird die Position des Rückstrahlers **26** innerhalb des Kugelkoordinatensystems des Nachführgerätes gefunden.

[0059] Der Laserstrahl **46** kann eine oder mehrere Laser-Wellenlängen umfassen. Aus Gründen der Klarheit und Einfachheit wird in der folgenden Diskussion ein Steuermechanismus der in **Fig. 1** dargestellten Art vorausgesetzt. Es sind jedoch auch andere Arten von Steuermechanismen möglich. Zum Beispiel wäre es möglich, einen Laserstrahl von einem Spiegel reflektieren zu lassen, der sich um die Azimut- und die Zenitachse dreht. Ein Beispiel für einen Spiegel, der auf diese Weise zum Einsatz gelangt, ist in US 4 714 339 A angeführt. Die beschriebenen Techniken sind hier anwendbar ungeachtet des Typs des Steuermechanismus.

[0060] Beim exemplarischen Lasernachführgerät **10** befinden sich Kameras **52** und Lichtquellen **54** auf der Nutzlast **15**. Die Lichtquellen **54** beleuchten ein oder mehrere Rückstrahler-Zielobjekte **26**. Die Lichtquellen **54** können LEDs sein, die elektrisch angesteuert werden, um auf wiederholende Weise gepulstes Licht zu emittieren. Jede Kamera **52** umfasst eine lichtempfindliche Anordnung und ein Objektiv, das sich vor der lichtempfindlichen Anordnung befindet. Die lichtempfindliche Anordnung kann eine CMOS- oder CCD-Anordnung sein. Das Objektiv kann ein relativ weites Gesichtsfeld aufweisen von beispielsweise

se dreißig oder vierzig Grad. Der Zweck des Objektivs besteht darin, ein Bild der Gegenstände innerhalb des Gesichtsfelds des Objektivs auf der lichtempfindlichen Anordnung zu erzeugen. Jede Lichtquelle **54** befindet sich in der Nähe der Kamera **52**, so dass das Licht von der Lichtquelle **54** von jedem Rückstrahler-Zielobjekt **26** auf die Kamera reflektiert **52** wird. Auf diese Weise lassen sich Bilder vom Rückstrahler leicht vom Hintergrund der lichtempfindlichen Anordnung unterscheiden, da ihre Bildflecke heller als die Hintergrundobjekte und dazu gepulst sind. Um die Linie des Laserstrahls **46** herum können zwei Kameras **52** und zwei Lichtquellen **54** untergebracht sein. Wenn auf diese Weise zwei Kameras benutzt werden, kann das Prinzip der Triangulierung dazu benutzt werden, um die dreidimensionalen Koordinaten eines jeden SMR innerhalb des Gesichtsfeldes der Kamera aufzufinden. Zusätzlich können die dreidimensionalen Koordinaten des SMR überwacht werden, während der SMR von Punkt zu Punkt bewegt wird. Die Verwendung von zwei Kameras für diesen Zweck ist in US 2010/0128259 A1 angeführt.

[0061] Weitere Anordnungen von einer oder mehreren Kameras und Lichtquellen sind möglich. Zum Beispiel können eine Lichtquelle und Kamera koaxial oder nahezu koaxial zu den vom Nachführgerät emittierten Laserstrahl angeordnet sein. In diesem Fall kann es erforderlich sein, eine optische Filterung oder ähnliche Methoden anzuwenden, um eine Sättigung der lichtempfindlichen Anordnung der Kamera mit dem Laserstrahl vom Nachführgerät zu vermeiden.

[0062] Eine weitere mögliche Anordnung besteht darin, eine einzelne Kamera zu benutzen, die sich auf der Nutzlast oder der Basis des Nachführgerätes befindet. Eine einzelne Kamera, falls sie sich nicht auf der optischen Achse des Lasernachführgerätes befindet, liefert Informationen über die zwei Winkel, welche die Richtung zum Rückstrahler festlegen, aber nicht die Entfernung zum Rückstrahler. In vielen Fällen kann diese Information ausreichend sein. Falls die 3D-Koordinaten des Rückstrahlers benötigt werden, wenn eine einzelne Kamera benutzt wird, dann besteht eine Möglichkeit darin, das Nachführgerät in der Azimutrichtung um 180 Grad zu drehen und dann die Zenitachse so zu kippen, dass sie zurück zum Rückstrahler zeigt. Auf diese Weise kann das Zielobjekt aus zwei unterschiedlichen Richtungen gesehen werden, und die 3D-Position des Rückstrahlers kann unter Anwendung der Triangulation gefunden werden.

[0063] Eine allgemeinere Herangehensweise zum Auffinden der Entfernung zu einem Rückstrahler mit einer einzelnen Kamera besteht darin, das Lasernachführgerät entweder um die Azimutachse oder die Zenitachse zu drehen und den Rückstrahler mit einer Kamera zu beobachten, die sich für jeden der zwei Rotationswinkel auf dem Nachführgerät befin-

det. Der Rückstrahler kann beispielsweise durch eine LED beleuchtet sein, die sich dicht an der Kamera befindet. **Fig. 18** zeigt, wie diese Vorgehensweise benutzt werden kann, um die Entfernung zum Rückstrahler zu finden. Der Versuchsaufbau **900** umfasst ein Lasernachführgerät **910**, eine Kamera **920** in einer ersten Position, eine Kamera **930** in einer zweiten Position und einen Rückstrahler in einer ersten Position **940** und einer zweiten Position **950**. Die Kamera wird aus der ersten Position in die zweite Position bewegt, indem das Lasernachführgerät **910** um den kardanischen Aufhängungspunkt **912** des Nachführgerätes um die Azimutachse oder die Zenitachse oder um beide, die Azimutachse als auch die Zenitachse, gedreht wird. Die Kamera **920** umfasst ein Linsensystem **922** und eine lichtempfindliche Anordnung **924**. Das Linsensystem **922** hat ein Projektionszentrum **926**, durch das Strahlen des Lichts von den Rückstrahlern **940**, **950** hindurchtreten. Die Kamera **930** ist dieselbe wie die Kamera **920** mit der Ausnahme, dass sie in eine andere Position gedreht ist. Der Abstand von der Oberfläche des Lasernachführgerätes **910** zum Rückstrahler **940** ist L_1 und der Abstand von der Oberfläche des Lasernachführgerätes zum Rückstrahler **950** ist L_2 . Der Pfad vom kardanischen Aufhängungspunkt **912** zum Projektionszentrum **926** des Objektivs **922** wird längs der Linie **914** gezogen. Der Pfad vom kardanischen Aufhängungspunkt **912** zum Projektionszentrum **936** des Objektivs **932** wird längs der Linie **916** gezogen. Die Abstände, die den Linien **914** und **916** entsprechen, haben denselben numerischen Wert. Wie aus **Fig. 18** ersichtlich ist, liefert die näher gelegene Position des Rückstrahlers **940** einen Bildfleck **952**, der von der Mitte der lichtempfindlichen Anordnung weiter weg liegt als der Bildpunkt **942**, welcher der lichtempfindlichen Anordnung **950** in einem Abstand entspricht, der weiter weg vom Lasernachführgerät ist. Dieses selbe Muster gilt für die Kamera **930**, die nach der Drehung angeordnet worden ist. Im Ergebnis ist der Abstand zwischen den Bildpunkten des nahe befindlichen Rückstrahlers **940** vor und nach der Drehung größer als der Abstand zwischen den Bildpunkten eines weiter weg befindlichen Rückstrahlers **950** vor und nach der Drehung. Durch Drehen des Lasernachführgerätes und Feststellen der sich ergebenden Änderung in der Position der Bildpunkte auf der lichtempfindlichen Anordnung kann der Abstand zum Rückstrahler gefunden werden. Das Verfahren zum Auffinden dieses Abstandes wird unter Anwendung der Geometrie leicht gefunden, wie dies einer Person offensichtlich ist, die sich auf diesem Fachgebiet auskennt.

[0064] Eine weitere Möglichkeit besteht darin, zwischen Messung und Abbildung des Zielobjekts umzuschalten. Ein Beispiel für ein derartiges Verfahren ist in US 7 800 758 B1 beschrieben. Andere Kameraanordnungen sind möglich und können mit den in dieser Anmeldung beschriebenen Verfahren benutzt werden.

[0065] Wie in **Fig. 2** dargestellt, ist die Ergänzungseinheit **70** üblicherweise ein Teil eines Lasernachführgerätes **10**. Der Zweck der Ergänzungseinheit **70** besteht darin, für den Körper des Lasernachführgerätes die elektrische Energie bereitzustellen, und in einigen Fällen auch darin, dem System Möglichkeiten zur Berechnung und Zeitgabe zu vermitteln. Es ist möglich, die Ergänzungseinheit **70** auch wegzulassen zusammen mit dem Verbringen der Funktionalität der Ergänzungseinheit **70** in den Körper des Nachführgerätes. In den meisten Fällen ist die Ergänzungseinheit **70** dem Universalrechner **80** beigelegt. Die Anwendungssoftware, die auf den Universalrechner **80** geladen ist, kann die Anwendungsmöglichkeiten wie beispielsweise die Umkehrtechnik liefern. Es ist auch möglich, den Universalrechner **80** in der Weise wegzulassen, dass man sein Berechnungsvermögen direkt in das Lasernachführgerät **10** einbaut. In diesem Fall wird eine Benutzer-Schnittstelle, möglicherweise mit den Funktionalitäten von Tastatur und Maus, in das Lasernachführgerät **10** direkt eingebaut. Die Verbindung zwischen der Ergänzungseinheit **70** und dem Computer **80** kann drahtlos oder über ein Kabel mit elektrischen Drähten erfolgen. Der Computer **80** kann an ein Netzwerk angeschlossen sein, und die Ergänzungseinheit **70** kann auch an ein Netzwerk angeschlossen sein. Mehrfachinstrumente wie beispielsweise multiple Messinstrumente oder Stellglieder können entweder über den Computer **80** oder die Ergänzungseinheit **70** zusammengeschaltet sein.

[0066] Das Lasernachführgerät **10** kann auf seiner Seite gedreht, von oben nach unten gedreht oder in eine willkürliche Ausrichtung gebracht werden. In diesen Situationen haben die Ausdrücke Azimutachse und Zenitachse dieselbe Richtung relativ zum Lasernachführgerät wie die in **Fig. 1** dargestellten Richtungen ohne Rücksicht auf die Ausrichtung des Lasernachführgerätes **10**.

[0067] In einer weiteren Ausführungsform wird die Nutzlast **15** durch einen Spiegel ersetzt, der sich um die Azimutachse **20** und die Zenitachse **18** dreht. Ein Laserstrahl wird nach oben gerichtet und trifft auf den Spiegel, von wo er in Richtung auf einen Rückstrahler **26** geworfen wird.

Senden von Befehlen an das
Lasernachführgerät aus der Entfernung

[0068] Die **Fig. 3A–Fig. 3E**, **Fig. 4A–Fig. 4C** und **Fig. 5A–Fig. 5D** veranschaulichen Abtastmittel, mit denen die Bedienperson gestengestützte Muster, die vom exemplarischen Lasernachführgerät **10** als Befehle interpretiert und ausgeführt werden, übermitteln kann. **Fig. 3A–Fig. 3E** veranschaulichen Abtastmittel, mit denen die Bedienperson gestengestützte Muster übermitteln, die das exemplarische Lasernachführgerät **10** unter Einsatz seiner Nachführ- und Messsysteme interpretiert. **Fig. 3A** zeigt das Lasernachführ-

gerät **10**, das den Laserstrahl **46** aussendet, der vom Rückstrahler-Zielobjekt **26** aufgefangen wird. Während das Zielobjekt **26** von einer Seite zur anderen bewegt wird, folgt der Laserstrahl vom Nachführgerät dieser Bewegung. Gleichzeitig messen die Winkelkodierer im Nachführgerät **10** die Winkelposition des Zielobjekts in den Richtungen von einer Seite zur anderen und von oben nach unten. Die Anzeigewerte der Winkelkodierer bilden eine zweidimensionale Karte von Winkeln, die durch das Nachführgerät als Funktion der Zeit registriert werden und im Hinblick auf Bewegungsmuster analysiert werden.

[0069] Fig. 3B zeigt den Laserstrahl **46**, wie er dem Rückstrahler-Zielobjekt **26** nachgeführt wird. In diesem Fall wird der Abstand vom Nachführgerät **10** zum Zielobjekt **26** gemessen. Die ADM- oder Interferometer-Ablesewerte bilden eine eindimensionale Karte von Abständen, die von dem Nachführgerät **10** als Funktion von Zeit aufgezeichnet werden und im Hinblick auf Bewegungsmuster analysiert werden. Die kombinierten Bewegungen der Fig. 3A und Fig. 3B können durch das Lasernachführgerät **10** ausgewertet werden, um nach einem Muster im dreidimensionalen Raum zu suchen.

[0070] Die Änderungen im Winkel, im Abstand oder im dreidimensionalen Raum können alle als Beispiele für räumliche Muster betrachtet werden. Räumliche Muster werden während der routinemäßigen Messungen mit dem Lasernachführgerät kontinuierlich beobachtet. Innerhalb des möglichen Bereichs von beobachteten Mustern können einige Muster zugehörige Befehle des Lasernachführgerätes aufweisen. Ein Typ von räumlichem Muster ist derzeit in Gebrauch, das als Befehl betrachtet werden kann. Dieses Muster ist eine Bewegung weg von der Oberfläche eines Objekts, der eine Messung folgt. Wenn zum Beispiel eine Bedienperson eine Anzahl von Punkten auf einem Objekt mit einem SMR misst, um den Außendurchmesser des Objekts zu erhalten, ist es klar, dass der Außendurchmesser gemessen wurde. Wenn eine Bedienperson den SMR weg von der Oberfläche bewegt nach der Messung eines Innendurchmessers, so ist klar, dass der Innendurchmesser gemessen wurde. Auf ähnliche Weise wird, wenn eine Bedienperson einen SMR nach dem Messen einer Platte nach oben bewegt, das so verstanden, dass die obere Oberfläche der Platte gemessen worden ist. Es ist wichtig zu wissen, welche Seite eines Objekts gemessen wird, das es erforderlich ist, die Versetzung des SMR zu eliminieren, die den Abstand von der Mitte zur Außenfläche des SMR darstellt. Falls diese Aktion der Bewegung des SMR weg von einem Objekt durch Software, die mit der Messung mit dem Lasernachführgerät verknüpft ist, automatisch interpretiert wird, dann kann die Bewegung des SMR als Befehl betrachtet werden, der angibt „die SMR-Versetzung von der Bewegungsrichtung abziehen“. Daher gibt es nach der Einbeziehung die-

ses ersten Befehls zusätzlich zu anderen Befehlen, die auf den räumlichen Mustern beruhen, wie das hier beschrieben wird, noch eine ganze Anzahl von Befehlen. Mit anderen Worten, es gibt eine Entsprechung zwischen einer gewissen Anzahl von Befehlen für Nachführgeräte und einer gewissen Anzahl von räumlichen Mustern.

[0071] Bei all den Diskussionen in der vorliegenden Anmeldung sollte dies so verstanden werden, dass das Konzept eines Befehls für ein Lasernachführgerät innerhalb des Kontextes der besonderen Messung gesucht werden sollte. Zum Beispiel wäre in der obigen Situation, in der eine Bewegung des Rückstrahlers angegeben sollte, ob vom Rückstrahler-Zielobjekt ein Innen- oder ein Außendurchmesser gemessen worden ist, diese Feststellung nur in dem Kontext genau, dass ein Nachführgerät ein Objekt misst, das ein kreisförmiges Profil hat.

[0072] Fig. 3C zeigt den Laserstrahl **46**, wie er dem Rückstrahler-Zielobjekt **26** nachgeführt wird. In diesem Fall wird das Rückstrahler-Zielobjekt **26** festgehalten, und das Nachführgerät **10** misst die dreidimensionalen Koordinaten. Manchen Stellen innerhalb des Messvolumens können spezielle Bedeutungen zugeordnet werden wie beispielsweise, wenn ein Befehls-Tablet, die später noch beschrieben wird, in eine besondere dreidimensionale Position gebracht wird.

[0073] Fig. 3D zeigt den Laserstrahl **46**, der blockiert wird, um das Rückstrahler-Zielobjekt **26** nicht zu erreichen. Durch abwechselndes Blockieren und Freigeben des Laserstrahls **46** wird das Muster der optischen Leistung, die zum Nachführgerät **10** zurückgeführt wird, von den Messsystemen des Nachführgerätes gesehen einschließlich Lagegeber und Entfernungsmesser. Die Variation in diesem zurückgeführten Muster bildet ein Muster als Funktion der Zeit, das vom Nachführgerät aufgezeichnet und analysiert werden kann, um nach Mustern zu suchen.

[0074] Während der Routinemessungen wird häufig ein Muster in der optischen Leistung beobachtet, die zum Lasernachführgerät zurückgeführt wird. Zum Beispiel ist es üblich, einen Laserstrahl zu blockieren, so dass er einen Rückstrahler nicht erreicht, und dann den Laserstrahl mit dem Rückstrahler zu einem späteren Zeitpunkt wieder aufzufangen, möglicherweise nachdem der Rückstrahler in eine neue Entfernung vom Nachführgerät gebracht worden ist. Diese Aktion des Unterbrechens des Laserstrahl und des späteren Wiederauffangens des Laserstrahl können als einfacher Typ eines Benutzerbefehls betrachtet werden, der angibt, dass der Rückstrahler wieder aufgefangen werden soll, nachdem er sich in eine neue Position bewegt hat. Daher gibt es nach der Einbeziehung dieses ersten Befehls zusätzlich zu anderen Befehlen, die auf der zeitlichen Veränderung in der

optischen Leistung beruhen, wie das hier beschrieben wird, eine ganze Anzahl von Befehlen. Mit anderen Worten, es gibt eine Entsprechung zwischen einer gewissen Anzahl von Befehlen für Nachführgeräte und einer gewissen Anzahl von Mustern, die auf Veränderungen in der optischen Leistung beruhen, die von einem Sensor aufgenommen wird, der sich auf dem Lasernachführgerät befindet.

[0075] Während der Routinemessungen wird häufig eine Änderung in der optischen Leistung beobachtet, wenn der Laserstrahl blockiert wird, so dass er nicht zum Lasernachführgerät zurückkehrt. Eine derartige Aktion kann als Befehl interpretiert werden, der angibt „Nachführen stoppen“ oder „Messung stoppen“. Auf ähnliche Weise kann ein Rückstrahler so bewegt werden, dass er einen Laserstrahl abfängt. Derartige einfache Aktionen können als Befehle interpretiert werden, die angeben „Nachführen beginnen“. Diese einfachen Befehle sind in der vorliegenden Patentanmeldung nicht von Interesse. Aus diesem Grunde beinhalten Befehle, die hier diskutiert werden, Änderungen in der optischen Leistung, die mindestens eine Abnahme in der optischen Leistung, gefolgt von einer Zunahme der optischen Leistung, enthalten.

[0076] Fig. 3E zeigt den Laserstrahl 46, wie er dem Rückstrahler 26 mit einer Sonde 110 mit sechs Freiheitsgraden nachgeführt wird. Viele Typen von Sonden mit sechs Freiheitsgraden sind möglich, und die in Fig. 3E gezeigte Sechs-FG-Sonde 110 dient lediglich zur Veranschaulichung und ist in ihrer Konstruktion nicht einschränkend. Das Nachführgerät 10 ist imstande, den Neigungswinkel der Sonde zu finden. Zum Beispiel kann das Nachführgerät den Dreh-, den Neigungs- und den Schwenkwinkel der Sonde 110 als Funktion der Zeit zu finden. Das Sammeln von Winkeln kann analysiert werden, um nach Mustern zu suchen.

[0077] Die Fig. 4A–Fig. 4C veranschaulichen Abtastmittel, durch welche die Bedienperson gesten-gestützte Muster übermitteln kann, die das exemplarische Lasernachführgerät 10 unter Verwendung seiner Kamerasysteme interpretiert. Fig. 4A zeigt die Kameras 52, wie sie die Bewegung des Rückstrahler-Zielobjekts 26 beobachten. Die Kameras 52 zeichnen die Winkelposition des Zielobjekts 26 als Funktion der Zeit auf. Diese Winkel werden später analysiert, um nach Mustern zu suchen. Es ist lediglich erforderlich, eine Kamera zu haben, um der Winkelbewegung des Rückstrahler-Zielobjekts 26 zu folgen, aber die zweite Kamera ermöglicht die Berechnung des Abstandes zum Zielobjekt. Wahlweise vorhandene Lichtquellen 54 beleuchten das Zielobjekt 26, wodurch es inmitten von Hintergrundbildern leichter identifiziert werden kann. Zusätzlich können die Lichtquellen 54 gepulst werden, um zusätzlich die Identifizierung des Zielobjekts zu vereinfachen.

[0078] Fig. 4B zeigt Kameras 52, wie sie die Bewegung des Rückstrahler-Zielobjekts 26 beobachten. Die Kameras 52 zeichnen die Winkelpositionen des Zielobjekts 26 auf und berechnen unter Benutzung der Triangulation den Abstand zum Zielobjekt 26 als Funktion der Zeit. Diese Abstände werden später analysiert, um nach Mustern zu suchen. Wahlweise vorhandene Lichtquellen 54 beleuchten das Zielobjekt 26.

[0079] Fig. 4C zeigt Kameras 52, wie sie die Bewegung des Rückstrahler-Zielobjekts 26 beobachten, das festgehalten wird. Das Nachführgerät 10 misst die dreidimensionalen Koordinaten des Zielobjekts 26. Manchen Stellen innerhalb des Messvolumens können spezielle Bedeutungen zugeordnet werden wie beispielsweise dann, wenn ein Befehls-Tablet, die später noch beschrieben wird, in eine besondere dreidimensionale Position gebracht wird.

[0080] Die Fig. 5A–Fig. 5C veranschaulichen Abtastmittel, durch welche die Bedienperson gesten-gestützte Muster übermitteln kann, die das exemplarische Lasernachführgerät 10 unter Verwendung seiner Kamerasysteme in Kombination mit einer aktiven Lichtquelle interpretiert. Fig. 5A zeigt die Kameras 52, wie sie das aktive Rückstrahler-Zielobjekt 120 beobachten. Das aktive Rückstrahler-Zielobjekt umfasst das Rückstrahler-Zielobjekt 126, auf das die Lichtquelle 122 und den Steuerknopf 124, mit dem die Lichtquelle 122 ein- und ausgeschaltet wird, montiert sind. Die Bedienperson drückt auf den Steuerknopf 124 zum Ein- und Ausschalten nach einem vorgeschriebenen Muster, um die Lichtquelle 122 in einem Muster zum Leuchten zu bringen, das von den Kameras 52 gesehen und vom Nachführgerät 10 analysiert wird.

[0081] Ein alternativer Betriebsmodus für Fig. 5A besteht darin, dass die Bedienperson den Steuerknopf 124 nur dann gedrückt hält, während sie einen Befehl durch Ausführen von Gesten gibt, was beispielsweise durch Bewegungen von einer Seite zur anderen oder von oben nach unten gegeben sein könnte. Indem der Steuerknopf 124 lediglich während dieser Zeit gedrückt gehalten wird, werden die syntaktische Zerlegung und die Analyse für das Nachführgerät 10 erleichtert. Das Nachführgerät kann das Muster der Bewegung auf verschiedene Art und Weise erhalten, ob nun der Steuerknopf 124 gedrückt gehalten wird oder nicht: (1) Kameras 52 können der Bewegung der Lichtquelle 122 folgen; (2) Kameras 52 können der Bewegung des Rückstrahlers 126 folgen, der wahlweise durch die Lichtquellen 54 beleuchtet wird; oder (3) das Nachführ- und Messsystem des Lasernachführgerätes 10 kann der Bewegung des Rückstrahlers 126 folgen. Zusätzlich ist es für das Nachführgerät möglich, dem Rückstrahler 126 zu folgen, um Messdaten zu sammeln, während die Bedienperson zur gleichen Zeit den Kontrollknopf 124 auf und nie-

der betätigt, um in dem emittierten LED-Licht ein zeitliches Muster zu erzeugen, damit an das Nachführgerät ein Befehl ausgegeben werden kann.

[0082] Fig. 5B zeigt die Kameras **52**, wie sie die Lichtquelle **132** auf der Sonde **130** mit sechs Freiheitsgraden beobachten. Die Sechs-FG-Sonde **130** umfasst den Rückstrahler **136**, die Lichtquelle **132** und den Steuerknopf **134**. Die Bedienperson drückt den Steuerknopf **134** auf eine vorgeschriebene Weise ein und aus, um die Lichtquelle **132** in einem Muster zum Leuchten zu bringen, das von den Kameras **54** gesehen und vom Nachführgerät **10** analysiert wird.

[0083] Ein alternativer Betriebsmodus für Fig. 5B besteht darin, dass die Bedienperson den Steuerknopf **134** nur dann gedrückt hält, während sie einen Befehl durch Ausführen von Gesten gibt, was beispielsweise durch Bewegungen von einer Seite zur anderen oder von oben nach unten oder Drehungen gegeben sein könnte. Indem der Steuerknopf **134** lediglich während dieser Zeit gedrückt gehalten wird, werden die syntaktische Zerlegung und die Analyse für das Nachführgerät **10** erleichtert. In diesem Fall kann das Nachführgerät das Muster der Bewegung auf verschiedene Art und Weise erhalten: (1) Kameras **52** können der Bewegung der Lichtquelle **132** folgen; (2) Kameras **52** können der Bewegung des Rückstrahlers **136** folgen, der wahlweise durch die Lichtquellen **54** beleuchtet wird; oder (3) das Nachführ- und Messsystem des Lasernachführgerätes **10** kann der Bewegung oder Drehung des Zielobjekts mit sechs Freiheitsgraden **130** folgen.

[0084] Fig. 5A, Fig. 5B können auch benutzt werden, um eine besondere Position anzuzeigen. Zum Beispiel kann ein Punkt auf der sphärischen Oberfläche des aktiven Rückstrahler-Zielobjekts **120** oder ein Punkt auf der sphärischen Oberfläche des Sechs-FG-Sonde **130** gegen ein Objekt gehalten werden, um eine Stelle zu liefern, die durch die Kameras **52** ermittelt werden kann. Manchen Stellen innerhalb des Messvolumens können spezielle Bedeutungen zugeordnet werden wie beispielsweise dann, wenn ein Befehls-Tablet, die im Hinweis auf Fig. 12 beschrieben wird, in eine besondere dreidimensionale Position gebracht wird.

[0085] Fig. 5C zeigt die Kameras **52**, wie sie die Lichtquelle **142** auf dem Lesestift **140** beobachten. Der Lesestift **140** umfasst die Lichtquelle **142** und den Steuerknopf **144**. Die Bedienperson drückt den Steuerknopf **144** auf eine vorgeschriebene Weise ein und aus, um die Lichtquelle **142** in einem zeitlichen Muster zu beleuchten, das von den Kameras **54** gesehen und vom Nachführgerät **10** analysiert wird.

[0086] Fig. 5D zeigt die Kameras **52**, wie sie die Lichtquelle **142** auf dem Lesestift **140** beobachten.

Die Bedienperson drückt den Steuerknopf **144** auf dem Lesestift, um die Lichtquelle **142** kontinuierlich zum Leuchten zu bringen. Während die Bedienperson den Lesestift **140** in beliebige Richtung bewegt, zeichnen die Kameras **52** die Bewegung des Lesestifts **140** auf, und das Muster davon wird vom Nachführgerät **10** analysiert. Es ist möglich, eine einzelne Kamera **52** zu benutzen, wenn lediglich das Muster der Querbewegung (von einer Seite zur anderen, von oben nach unten) und nicht die Radialbewegung von Bedeutung ist.

[0087] Wie bereits weiter oben erläutert worden ist, verfügt das Nachführgerät **10** über die Fähigkeit, räumliche Positionen, räumliche Muster und zeitliche Muster zu erkennen, die von der Bedienperson über den Gebrauch des Rückstrahler-Zielobjekts **26**, des Zielobjekts mit sechs Freiheitsgraden **110** oder **130**, des aktiven Rückstrahler-Zielobjekts **120** oder des Lesestifts **140** erzeugt worden sind. Diese räumlichen oder zeitlichen Muster werden gemeinsam als Gesten bezeichnet. Die in Fig. 3A–Fig. 3E, Fig. 4A–Fig. 4C, Fig. 5A–Fig. 5D abgebildeten Abtastvorrichtungen und Abtastmodi sind spezifische Beispiele und sollten nicht so verstanden werden, als würden sie den Schutzbereich der Erfindung begrenzen.

[0088] Fig. 6 zeigt ein Ablaufschema **200**, bei dem diejenigen Schritte aufgelistet sind, die von der Bedienperson und dem Lasernachführgerät **10** bei der Ausgabe und der Durchführung von gestengestützten Befehlen ausgeführt werden. Im Schritt **120** erfolgt das kontinuierliche Erfassen auf Befehle durch das Lasernachführgerät **10**. Mit anderen Worten, das Nachführgerät benutzt einen oder mehrere der Abtastmodi, die in Fig. 3A–Fig. 3E, Fig. 4A–Fig. 4C, Fig. 5A–Fig. 5D aufgezeigt sind, um Positionen, räumliche Muster und zeitliche Muster aufzuzeichnen. Im Schritt **220** signalisiert die Bedienperson einen Befehl. Dies bedeutet, dass die Bedienperson eine Geste erzeugt, indem sie eine geeignete Aktion an einem Objekt wie beispielsweise einem Rückstrahler-Zielobjekt **26**, einer Sechs-FG-Sonde **110** oder **130**, einem aktiven Rückstrahler-Zielobjekt **120** oder einem Lesestift **140** vornimmt. Eine geeignete Aktion könnte die Bewegung zu einer besonderen absoluten Koordinate oder die Bewegung zur Schaffung eines besonderen räumlichen oder zeitlichen Musters enthalten.

[0089] Im Schritt **230** fängt das Nachführgerät **10** den gerade von der Bedienperson signalisierten Befehl auf und zerlegt diesen. Es fängt den Befehl ab durch Erfassen und Aufzeichnen der räumlichen und zeitlichen Informationen von den sich bewegenden Objekten. Es zerlegt den Befehl durch Anwendung der Leistungsfähigkeit des Computers, möglicherweise im Innern des Nachführgerätes, um den Strom von Daten in geeignete Untereinheiten aufzugliedern und

die Muster zu identifizieren, die von den Untereinheiten gemäß einem Algorithmus gebildet werden. Typen von Algorithmen, die benutzt werden könnten, werden anschließend diskutiert.

[0090] Im Schritt **240** bestätigt das Nachführgerät, dass ein Befehl eingegangen ist. Die Bestätigung könnte beispielsweise in Form eines aufblitzenden Lichts erfolgen, das sich auf dem Nachführgerät befindet. Die Bestätigung könnte mehrere Formen annehmen, was davon abhängt, ob der Befehl deutlich, verstümmelt oder unvollständig eingegangen ist oder es unmöglich ist, diesen aus diesem oder jenem Grunde auszuführen. Das Signal für jede dieser unterschiedlichen Bedingungen könnte auf eine sehr unterschiedliche Weise gegeben werden. Zum Beispiel wären unterschiedliche Farben des Lichts oder unterschiedliche Muster oder Zeitdauer der Blitze möglich. Töne im Hörbereich könnten auch als Rückkopplung benutzt werden.

[0091] Im Schritt **250** prüft das Nachführgerät **10**, ob der Befehl verstümmelt ist. Mit anderen Worten, es wird gefragt, ob die Bedeutung des eingegangenen Befehls unklar ist. Falls der Befehl verstümmelt ist, kehrt der Fluss zum Schritt **210** zurück, wo das Nachführgerät **10** weiterhin nach Befehlen abtastet. Andernfalls geht der Fluss weiter zum Schritt **260**, wo das Nachführgerät **10** prüft, ob der Befehl unvollständig ist. Mit anderen Worten, es wird danach gefragt, ob mehr Informationen benötigt werden, um den Befehl voll und ganz festzulegen. Falls der Befehl unvollständig ist, kehrt der Fluss zum Schritt **210** zurück, wo das Nachführgerät **10** weiterhin nach Befehlen abtastet. Andernfalls geht der Fluss weiter zum Schritt **270**.

[0092] Im Schritt **270** arbeitet das Nachführgerät **10** ab, welche Aktionen vom Befehl verlangt werden. In einigen Fällen verlangen die Aktionen Mehrschritte sowohl seitens des Nachführgerätes als auch seitens der Bedienperson. Beispiele für derartige Fälle werden weiter unten diskutiert. Im Schritt **280** signalisiert das Nachführgerät **10**, dass die Messung vollständig ist. Der Fluss kehrt dann zum Schritt **210** zurück, bei dem das Nachführgerät weiterhin nach Befehlen abtastet.

[0093] Fig. 7 zeigt, dass Schritt **220**, in dem die Bedienperson einen Befehl signalisiert, drei Schritte umfasst: Schritt **222** – Prolog; Schritt **224** – Direktive; Schritt **226** – Epilog. Die Schritte Prolog und Epilog sind wahlweise. Der Teil Direktive des Befehls ist derjenige Teil des Befehls, der die zu befolgenden Anweisungen befördert. Der Teil Prolog des Befehls gibt dem Nachführgerät an, dass der Befehl beim Starten ist und die Direktive bald gegeben wird. Der Teil Epilog des Befehls gibt dem Nachführgerät an, dass der Befehl vorüber ist.

[0094] Fig. 8–Fig. 10 zeigen zwei exemplarische Sätze von Gesten (Geste „Beispiel 1“ und Geste „Beispiel 2“), die einem exemplarischen Satz von Befehlen entsprechen. Die ganz links stehenden Spalten der Fig. 8–Fig. 10 zeigen den exemplarischen Satz von Befehlen. Einige von diesen Befehlen sind der Software FARO CAM2 entnommen. Andere Befehle werden aus anderer Software genommen, wie beispielsweise der Software SMX Insight oder der Dienstprogramm-Software, die mit dem Lasernachführgerät FARO ausgeliefert wird. Neben diesen Beispielen können Befehle aus anderer Software genommen werden oder einfach für einen besonderen Bedarf erzeugt werden. In jeder der Fig. 8–Fig. 10 zeigt die zweite Spalte ein Software-Kürzel in der CAM2-Software, falls verfügbar. Eine Bedienperson kann dieses Software-Kürzel auf der Tastatur drücken, damit der entsprechende Befehl ausgeführt wird. Die dritte und die vierte Spalte von Fig. 8–Fig. 10 zeigen einige räumliche Muster, die benutzt werden könnten, um einen bestimmten Befehl darzustellen. Die zweidimensionalen räumlichen Muster könnten beispielsweise unter Verwendung der in Fig. 3A, Fig. 4A oder Fig. 5D gezeigten Verfahren abgetastet werden.

[0095] Für jede der Gesten in der dritten und vierten Spalte in Fig. 8–Fig. 10 wird die Startposition durch einen kleinen Kreis angegeben, und die Endposition wird durch einen Pfeil angegeben. Die Gesten in der dritten Spalte der Fig. 8–Fig. 10 sind einfache Formen – Kreise, Dreiecke oder Quadrate. Die 28 Formen, die in dieser Spalte gezeigt werden, unterscheiden sich voneinander durch ihre Orientierungen und Startpositionen. Dagegen haben die Formen in der vierten Spalte von Fig. 8–Fig. 10 lediglich Vorschlagscharakter für den auszuführenden Befehl. Der Hauptvorteil der Formen in der dritten Spalte besteht darin, dass diese für den Computer leichter zu erkennen und als Befehle zu interpretieren sind. Dieser Aspekt wird weiter unten ausführlicher diskutiert. Der Hauptvorteil der Formen in der vierten Spalte besteht darin, dass diese für die Bedienperson leichter im Gedächtnis zu behalten sind.

[0096] Fig. 11A–Fig. 11F zeigen alternative räumliche Muster, die bei den Gesten benutzt werden könnten. Fig. 11A zeigt einzelne Striche; Fig. 11B zeigt alphanumerische Zeichen; Fig. 11C zeigt einfache Formen; Fig. 11D zeigt einen einfachen Pfad, wobei dieser Pfad einmal nachgezogen oder wiederholt wird; Fig. 11E zeigt einen Verbundpfad, der aus zwei oder mehr als zwei einfacheren Mustern gebildet wird, und Fig. 11F zeigt Muster, die aus zwei oder mehr als zwei Buchstaben gebildet werden.

[0097] Fig. 12 zeigt ein exemplarisches Befehls-Tablet **300**. Die Bedienperson bringt das Befehls-Tablet **300** an eine geeignete Stelle in der Nähe der Position, an der die Messung durchgeführt wird. Das Befehls-Tablet **300** kann aus steifem Material gefertigt sein,

das die Größe eines Notizbuchblattes hat oder größer ist. Die Bedienperson bringt das Befehls-Tablet **300** auf eine geeignete Oberfläche und kann eine Vielfalt von Mitteln benutzen, um das Zielobjekt an Ort und Stelle zu halten. Zu solchen Mitteln können Band, Magnete, Heißleim, Reißzwecken oder Klettband gehören. Die Bedienperson richtet die Stelle des Befehls-Tablets **300** mit dem Bezugsrahmen des Lasernachführgerätes **10** ein durch Berühren der Vergleichspositionen **310**, **312** und **314** mit dem Rückstrahler **26**. Es wäre möglich, multiple Befehls-Tablets in einer gegebenen Umgebung zu benutzen. Eine exemplarisch Vorgehensweise zum Auffinden der Stelle für das Befehls-Tablet wird weiter unten diskutiert.

[0098] Das Befehls-Tablet **300** kann in eine Anzahl von Quadraten unterteilt sein. Zusätzlich zu den Quadraten für die Vergleichspositionen **310**, **312** und **314** gibt es in den 8–10 Quadrate für Befehle und weitere Quadrate, die dem Zielobjekttyp, dem Nesttyp, der Richtung und der Anzahl entsprechen. Die Aufmachung und der Inhalt des exemplarischen Befehls-Tablets **300** hat lediglich Vorschlagscharakter, und das Befehls-Tablets kann auf sehr verschiedene Weise angelegt werden. Es kann auch ein anwendungsspezifisches Befehls-Tablet für einen besonderen Job angelegt werden.

[0099] Um einen Befehl an ein Lasernachführgerät **10** durch Gesten auszudrücken, berührt die Bedienperson mit dem Rückstrahler das gewünschte Quadrat auf dem Befehls-Tablet **300**. Diese Aktion durch die Bedienperson entspricht dem Schritt **220** in Fig. **200**. Das Erfassen der Aktion kann beispielsweise durch die in Fig. 3C oder Fig. 4C gezeigten Verfahren ausgeführt werden. Falls eine Abfolge unter Beteiligung von aus mehreren Ziffern bestehenden Zahlen einzugeben ist, wie beispielsweise die Zahl 3.50, dann wären die Quadrate 3, Punkt, 5 und 0 der Reihe nach zu berühren. Wie weiter unten noch diskutiert wird, gibt es verschiedene Wege, dem Nachführgerät anzuzeigen, dass ein Quadrat gelesen werden soll. Eine Möglichkeit besteht darin, eine voreingestellte Zeit abzuwarten, beispielsweise mindestens zwei Sekunden. Das Nachführgerät wird dann ein Signal geben, das beispielsweise ein aufblitzendes Licht sein kann, das angibt, dass der Inhalt des Quadrats gelesen worden ist. Wenn die gesamte Abfolge von Zahlen eingegeben worden ist, kann die Bedienperson die Abfolge auf eine vorbestimmte Weise abschließen. Zum Beispiel könnte mit dem vereinbarten Terminator einer der Vergleichspunkte berührt werden.

[0100] Das Befehls-Tablet **300** kann auch mit einem CMM-Gelenkarm an Stelle eines Lasernachführgerätes benutzt werden. Ein CMM-Gelenkarm umfasst eine Anzahl von gelenkig verbundenen Segmenten, die an einem Ende an einer stationären Basis angebracht sind, sowie eine Sonde, Scanner oder Sen-

sor am anderen Ende. Exemplarische CMM-Gelenkarme sind in US 6 935 036 B2 und US 6 965 843 B2 beschrieben. Die Sondenspitze wird mit den Quadraten des Befehls-Tablets **300** auf dieselbe Weise in Kontakt gebracht, wie das Rückstrahler-Zielobjekt mit den Quadraten des Befehls-Tablets **300** in Kontakt gebracht wird, wenn ein Lasernachführgerät benutzt wird. Ein CMM-Gelenkarm führt typischerweise die Messung über ein viel kleineres Messvolumen aus, als dies ein Lasernachführgerät durchführt. Aus diesem Grund ist es üblicherweise einfach, einen geeigneten Platz zu finden, um das Befehls-Tablet **300** zu montieren, wenn ein CMM-Gelenkarm benutzt wird. Die besonderen Befehle, die in dem Befehls-Tablet **300** enthalten sind, werden gewöhnlich den Befehlen angepasst, die für den CMM-Gelenkarm geeignet sind und die sich von den Befehlen für das Lasernachführgerät unterscheiden. Der Vorteil der Verwendung eines Befehls-Tablets mit einem CMM-Gelenkarm besteht darin, dass er der Bedienperson die Unbequemlichkeit und den Zeitverlust des Absetzens der Sonde, der Bewegung des Computers und der Eingabe eines Befehls erspart, bevor auf den CMM-Gelenkarm zurückgegriffen wird.

[0101] In Fig. 13–Fig. 16 sollen nun vier Beispiele dafür angegeben werden, wie Gesten benutzt werden können. Fig. 13 zeigt Gesten, die benutzt werden, um einen Bezugspunkt für ein exemplarisches Lasernachführgerät **10** einzurichten. Wir erinnern uns an die weiter oben geführte Diskussion, dass Auto Reset ein möglicher Wahlmodus eines Lasernachführgerätes ist. Falls das Lasernachführgerät auf die Option Auto Reset eingestellt wird, dann wird, wann auch immer der Strahlenweg unterbrochen wird, die lichtempfindliche Anordnung auf die Bezugsposition gerichtet. Eine vertraute Bezugsposition ist die Home Position des Nachführgerätes, die der Position eines magnetischen Nestes entspricht, das dauerhaft an den Körper des Lasernachführgerätes angebaut ist. Auf alternative Weise kann eine Bezugsposition dicht am Arbeitsvolumen gewählt werden, damit für die Bedienperson die Notwendigkeit entfällt, zurück zum Nachführgerät zu gehen, wenn der Strahl unterbrochen wird (üblicherweise ist dies Fähigkeit von größter Bedeutung, wenn beim Nachführgerät ein Interferometer und nicht ein ADM benutzt wird, um die Messung durchzuführen).

[0102] In Fig. 13 werden die im Ablaufschema **400** dargestellten Aktionen ausgeführt, um einen Bezugspunkt über den Einsatz von Gesten einzurichten. Im Schritt **420** bewegt die Bedienperson das Zielobjekt in das für „Einstellen des Bezugspunktes“ in Fig. 10 dargestellte Muster. Das Zielobjekt kann in diesem Fall zum Beispiel der Rückstrahler **26** sein, wie das in Fig. 3A dargestellt ist. Im Schritt **430** fängt das Lasernachführgerät **10** den Befehl ab und zerlegt diesen und bestätigt, dass der Befehl eingegangen ist. In diesem Fall besteht die Form der Bestätigung im

zweimaligen Aufblitzen des roten Lichts am Vorderfeld des Nachführgerätes. Es können jedoch auch andere Rückkopplungsmittel wie beispielsweise eine unterschiedliche Farbe oder Muster oder ein Ton im Hörbereich benutzt werden. Im Schritt **440** bringt die Bedienperson den SMR **26** in das magnetische Nest, das die Bezugsposition festlegt. Das Lasernachführgerät **10** überwacht kontinuierlich die Positionsdaten des SMR **26** und stellt fest, wenn dieser stationär ist. Falls der SMR für fünf Sekunden stationär ist, erkennt das Nachführgerät **10**, dass die Bedienperson absichtlich den SMR in das Nest gesetzt hat, und das Nachführgerät beginnt zu messen. Ein rotes Licht am Feld des Nachführgerätes kann beispielsweise leuchten, wenn die Messung erfolgt. Das rote Licht erlischt, wenn die Messung abgeschlossen ist.

[0103] In Fig. 14 werden die im Ablaufschema **500** dargestellten Aktionen ausgeführt, um die Position eines exemplarischen Befehls-Tablets **300** im dreidimensionalen Raum einzurichten. Erinnern wir uns an die weiter oben geführte Diskussion, dass das Befehls-Tablet **300** die drei Vergleichspositionen **310**, **312** und **314** aufweist. Indem man ein Rückstrahler-Zielobjekt mit diesen drei Positionen in Berührung bringt, kann die Position des Befehls-Tablets **300** im dreidimensionalen Raum gefunden werden. Im Schritt **510** bewegt die Bedienperson das Zielobjekt in das in Fig. 9 für „Befehls-Tablet initialisieren“ dargestellte Muster. Das Zielobjekt kann in diesem Fall beispielsweise der Rückstrahler **26** sein, wie das in Fig. 3A dargestellt ist. Im Schritt **520** fängt das Lasernachführgerät **10** den Befehl ab und zerlegt ihn und bestätigt, dass der Befehl eingegangen ist, indem das Aufblitzen des roten Lichts zweimal erfolgt. Im Schritt **530** hält die Bedienperson den SMR **26** gegen einen der drei Vergleichspunkte. Das Lasernachführgerät **10** überwacht kontinuierlich die Positionsdaten des SMR **26** und stellt fest, wenn der SMR stationär ist. Im Schritt **540** misst das Nachführgerät **10**, falls der SMR **26** fünf Sekunden lang stationär ist, die Position des SMR **26**. Im Schritt **550** hält die Bedienperson den SMR **26** gegen einen zweiten der drei Vergleichspunkte. Im Schritt **560** misst das Nachführgerät **10**, falls der SMR **26** fünf Sekunden lang stationär ist, die Positionsdaten des SMR **26**. Im Schritt **570** hält die Bedienperson den SMR **26** gegen den dritten der drei Vergleichspunkte. Im Schritt **580** misst das Nachführgerät **10**, falls der SMR **26** fünf Sekunden lang stationär ist, die Positionsdaten des SMR **26**. Nun kennt das Nachführgerät **10** die dreidimensionalen Positionen eines jeden der drei Vergleichspunkte, und es kann den Abstand zwischen diesen drei Punktpaaren aus diesen drei Punkten berechnen. Im Schritt **590** sucht das Nachführgerät **10** nach einem Fehler, indem es die bekannten Abstände zwischen den Punkten mit den berechneten Abständen zwischen den Punkten vergleicht. Falls die Differenzen zu groß sind, wird im Schritt **590** durch eine geeignete Anzeige ein Fehlersignal angezeigt, welche

das Aufleuchten des roten Lichts für die Dauer von fünf Sekunden sein kann.

[0104] In Fig. 15 werden die im Ablaufschema **600** dargestellten Aktionen ausgeführt, um über den Einsatz von Gesten einen Kreis zu messen. Im Schritt **610** bewegt die Bedienperson das Zielobjekt in das in Fig. 8 für „Messen eines Kreises“ dargestellte Muster. Das Zielobjekt kann in diesem Fall beispielsweise der Rückstrahler **26** sein, wie das in Fig. 3A dargestellt ist. Im Schritt **620** fängt das Lasernachführgerät **10** den Befehl ab und zerlegt diesen und bestätigt, dass der Befehl eingegangen ist, indem das rote Licht zweimal aufleuchtet. Im Schritt **630** hält die Bedienperson den Rückstrahler **26** gegen das Werkstück. Falls beispielsweise die Bedienperson das Innere eines kreisförmigen Loches misst, wird sie den SMR gegen den Teil auf der Innenseite des Lochs bringen. Das Lasernachführgerät **10** überwacht kontinuierlich die Positionsdaten des Rückstrahlers **26** und stellt fest, wenn der SMR stationär ist. Im Schritt **640** geht, nachdem der Rückstrahler **26** fünf Sekunden lang stationär gewesen ist, das rote Licht an, und das Nachführgerät **10** beginnt die kontinuierliche Messung der Position des Rückstrahlers **26**. Im Schritt **650** bewegt die Bedienperson den Rückstrahler **10** längs des in Frage kommenden Kreises. Im Schritt **660** bewegt die Bedienperson, wenn genügend Punkte gesammelt worden sind, den Rückstrahler **26** weg von der Oberfläche des gemessenen Objekts. Die Bewegung des Rückstrahlers **26** zeigt an, dass die Messung vollständig ist. Sie zeigt auch an, ob das Rückstrahler-Zielobjekt **26** einen Innendurchmesser oder Außendurchmesser misst, und versetzt die Anwendungssoftware in die Lage, einen Versetzungsabstand beim Radius des Rückstrahlers **26** zu berücksichtigen. Im Schritt **670** bringt das Nachführgerät **10** das rote Licht zweimal zum Aufleuchten, um anzuzeigen, dass die erforderlichen Messdaten gesammelt worden sind.

[0105] In Fig. 16 werden die im Ablaufschema **700** dargestellten Aktionen ausgeführt, um einen Rückstrahler zu erfassen, nachdem der Laserstrahl vom Lasernachführgerät **10** unterbrochen worden ist. Im Schritt **710** bewegt die Bedienperson den Rückstrahler in das in Fig. 10 für „SMR erfassen“ dargestellte Muster. Das Zielobjekt kann in diesem Fall beispielsweise der Rückstrahler **26** sein, wie das in Fig. 4A dargestellt ist. Zu Beginn dieses Vorgehens hat der SMR den SMR nicht erfasst und daher können die in Fig. 3A–Fig. 3E dargestellten Modi nicht angewendet werden. Statt dessen werden die Kameras **52** und die Lichtquellen **54** benutzt, um den Rückstrahler **26** zu orten. Im Schritt **720** fängt das Lasernachführgerät **10** den Befehl ab und zerlegt diesen und bestätigt, dass der Befehl eingegangen ist, indem das rote Licht zweimal aufblinkt. Gleichzeitig lenkt es den Laserstrahl **46** in Richtung auf die Mitte des Rückstrahlers **26**. Im Schritt **730** prüft das Nachführgerät

10, ob der Laserstrahl vom Rückstrahler **26** eingefangen worden ist. In den meisten Fällen wird der Laserstrahl nahe genug an der Mitte des Rückstrahlers **26** geführt, damit er innerhalb des aktiven Bereichs des Lagegebers im Nachführgerät landet. In diesem Fall lenkt das Servosystem des Nachführgerätes den Laserstrahl in eine Richtung, die den Laserstrahl zur Mitte des Lagegebers bewegt, der auch bewirkt, dass sich der Laserstrahl zur Mitte des Rückstrahlers **26** bewegt. Die normale Nachführung erfolgt danach. Falls der Laserstrahl nicht dicht genug an der Mitte des Rückstrahlers **26** geführt wird, um auf dem Lagegeber im Nachführgerät zu landen, besteht eine Möglichkeit darin, eine spiralförmige Suche durchzuführen, wie das im Schritt **740** dargestellt ist. Das Lasernachführgerät **10** führt eine Spiralsuche in der Weise durch, dass der Laserstrahl in eine Startrichtung zielgerichtet gelenkt wird und dass dann den Strahl in eine sich immer mehr weitende Spirale gelenkt wird. Ob nun eine Spiralsuche durchgeführt wird oder nicht, das kann als Option am Lasernachführgerät oder in der Anwendungssoftware, die mit dem Lasernachführgerät benutzt wird, eingestellt werden. Eine weitere Option, die für ein sich schnell bewegendes Zielobjekt geeignet sein könnte, besteht darin, den Schritt **720** mehrmals zu wiederholen, bis der Laserstrahl vom Rückstrahler eingefangen wird oder bis eine Zeitüberwachung eingreift.

[0106] Wie bereits weiter oben mit Bezug auf **Fig. 7** diskutiert worden ist, signalisiert die Bedienperson einen Befehl über die Verwendung von drei Schritten: einen optionalen Prolog, eine Direktive und einen optionalen Epilog. Falls das Nachführgerät ständig Daten zerlegt und schnell reagieren kann, wenn das gewünschte Muster erzeugt worden ist, kann es möglich sein, die Direktive allein ohne den Prolog oder Epilog zu benutzen. Falls die Bedienperson eine Position auf dem Befehls-Tablet **300** berührt, sollte auf ähnliche Weise der Befehl für das Nachführgerät klar sein, ohne dass es eines Prologs oder Epilogs bedarf. Falls andererseits das Nachführgerät nicht schnell genug zerlegen kann, um unverzüglich auf das von der Bedienperson erzeugte Muster zu reagieren, oder falls es eine Gelegenheit gibt, dass die Bedienperson ein Befehlsmuster unbeabsichtigt erzeugen kann, können der Einsatz eines Prologs, Epilogs oder beider erforderlich sein.

[0107] Ein Beispiel für einen einfachen Prolog oder Epilog ist einfach eine Pause in der Bewegung der Zielobjekte, das irgend eines der in **Fig. 3A–Fig. 3E**, **Fig. 4A–Fig. 4C** und **Fig. 5A–Fig. 5D** dargestellten Zielobjekte sein kann. Zum Beispiel kann die Bedienperson vor dem Start eines Musters eine Pause von einer oder zwei Sekunden machen und eine solche von ein oder zwei Sekunden am Ende des Musters. Indem auf diese Weise Pausen eingelegt werden, können die Start- und Endpositionen einer jeden Geste, die durch Kreise bzw. Pfeile in **Fig. 8–Fig. 10** und

durch Kreise bzw. Quadrate in **Fig. 11** angegeben sind, von der Zerlegungssoftware im Nachführgerät oder Computer viel leichter verstanden werden.

[0108] Ein weiteres Beispiel für einen einfachen Prolog oder Epilog ist das schnelle Blockieren und Freigeben des Laserstrahls vom Nachführgerät. Zum Beispiel kann die Bedienperson ihre Finger spreizen, so dass zwischen jedem der vier Finger ein Zwischenraum ist. Wenn sie dann ihre Finger ganz schnell durch den Laserstrahl bewegt, dann wird der Strahl viermal in schneller Abfolge unterbrochen und wieder freigegeben. Ein derartiges zeitliches Muster, das als „Vier-Finger-Salut“ bezeichnet wird, wird vom Lasernachführgerät leicht erkannt. Die Modi für das Erfassen, die auf zeitlichen Änderungen in der zurückgeführten Laserleistung beruhen, sind in **Fig. 3D** für ein passives Zielobjekt und in **Fig. 5A–Fig. 5C** für aktive Zielobjekte dargestellt.

[0109] Neben dem Einsatz eines Prologs oder Epilogs im gestengestützten Befehl wird ein Typ von Prolog manchmal beim Start einer Aktion durch das Lasernachführgerät benötigt. Zum Beispiel gibt es in den Beispielen der **Fig. 13–Fig. 15** eine Wartezeit von fünf Sekunden, nachdem ein Befehl gegeben worden ist, bevor die Messung mit dem Nachführgerät beginnt. Der Zweck dieser Wartezeit besteht darin, der Bedienperson Zeit zu geben, um das Rückstrahler-Zielobjekt in Position zu bringen, bevor die Messung beginnt. Natürlich ist die Zeit von fünf Sekunden willkürlich und könnte auf irgend einen gewünschten Wert festgelegt werden. Außerdem wäre es möglich, einen Vier-Finger-Salut an Stelle einer Zeitverzögerung anzuwenden, um die Bereitschaft zur Messung anzuzeigen.

[0110] Aktive Zielobjekte wie beispielsweise diejenigen, die in **Fig. 5A–D** dargestellt sind, sind bei Anwendung wie beispielsweise beim Werkzeugbau oder bei der Montage von Geräten nützlich. Ein Werkzeug ist ein Typ von Apparat, der gefertigt wird, um bei der Herstellung von anderen Vorrichtungen dienlich zu sein. Auf Gebieten wie denen des Automobilbaus und Flugzeugbaus werden Werkzeuge nach genau festgelegten Spezifikationen konstruiert. Das Lasernachführgerät hilft hier sowohl beim Zusammenbau als auch beim Prüfen derartiger Werkzeuge. In vielen Fällen ist es erforderlich, die Einzelteile eines Werkzeugs in Bezug zueinander auszurichten. Ein einzelnes Rückstrahler-Zielobjekt, wie beispielsweise ein Rückstrahler **26**, kann benutzt werden, um das Koordinatensystem festzulegen, gemäß dem jedes Element im Werkzeug einwandfrei ausgerichtet werden kann. Bei einem komplizierten Werkzeug kann eine ganze Menge an wiederholten Messungen beteiligt sein. Eine Alternative besteht darin, an die Werkzeugteile multiple Rückstrahler-Zielobjekte zu montieren und dann alle diese in schneller Abfolge zu messen. Derartige Schnellmessungen

gen werden heutzutage durch moderne Technologien für die Nachführgeräte ermöglicht, wie beispielsweise die absoluten Entfernungsmesser und Kamerasysteme (wie beispielsweise die Teile **42, 44**). Falls multiple Rückstrahler direkt auf die Werkzeuge montiert werden, kann es für eine Bedienperson schwierig oder unrationell sein, einen dieser Rückstrahler zu benutzen, um gestengestützte Befehle zu erzeugen. Es kann dann günstiger sein, einen Lesestift wie beispielsweise den in **Fig. 5C** oder **Fig. 5C** gezeigten Lesestift **140** zu verwenden. Die Bedienperson kann unter Verwendung eines Lesestiftes schnell Befehle geben, ohne die an das Werkzeug montierten Rückstrahler zu stören. Ein solcher Lesestift kann an das Ende eines Hammers oder einer ähnlichen Vorrichtung montiert werden, um der Bedienperson die Hände frei zu lassen, damit sie Montage- und Einstellarbeiten ausführen kann. In einigen Fällen kann ein getrennter Rückstrahler oder eine Sechs-FG-Sonde wie eine derjenigen, die in **Fig. 5A** bzw. **Fig. 5B** dargestellt sind, während des Zusammenbaus des Werkzeugs erforderlich sein. Durch das Anbringen einer Lichtquelle und eines Steuerknopfes an dem als Basis dienenden SMR oder Sechs-FG-Sonde kann die Bedienperson Befehle auf eine sehr flexible Weise ausgeben.

[0111] Aktive Zielobjekte wie diejenigen, die in **Fig. 5A–D** dargestellt sind, sind auch bei der Montage von Vorrichtungen nützlich. Ein moderner Trend ist die flexible Montage unter Anwendung von Lasernachführgeräten an Stelle der automatisierten Werkzeugmontage. Ein wichtiger Vorteil des Herangehens mit Nachführgerät besteht darin, dass nur wenig Vorbereitung im Vorfeld erforderlich ist. Eine Sache, die eine derartige Montage heutzutage praktisch macht, ist die Verfügbarkeit von Software, die Zeichnungen mit CAD-Software mit den von Lasernachführgeräten ausgeführten Messungen in Einklang bringt. Indem man Rückstrahler an den zu montierenden Teilen anbringt und sequentiell die Rückstrahler mit einem Lasernachführgerät misst, kann die hohe Genauigkeit der Montage auf einem Computer-Anzeigegerät unter Verwendung von Farben dargestellt werden, wie beispielsweise mit der Darstellung von Rot zur Anzeige für „weit weg“, Gelb für „kommt näher“ und Grün für „dicht genug“. Unter Verwendung eines aktiven Zielobjekts kann die Bedienperson Befehle erteilen, um ausgewählte Zielobjekte oder Gruppen von Zielobjekten auf solche Weise zu messen, dass der Montagevorgang optimiert wird.

[0112] Multiple Rückstrahler werden oft in einem einzelnen Messvolumen lokalisiert. Beispiele für Werkzeugbau und Montage von Geräten mit multiplen Rückstrahlern sind bereits weiter oben beschrieben worden. Diese Beispiele haben gezeigt, dass ein aktives Zielobjekt besonders nützlich sein kann. In anderen Fällen kann die Fähigkeit des Lasernachführgerätes, Bewegungen von multiplen passiven Rück-

strahlern zu erkennen, von Nutzen sein. Nehmen wir beispielsweise an, dass multiple Rückstrahler an einer Werkzeugbefestigung wie beispielsweise einer Blechstanzpresse angebracht worden sind und die Bedienperson nach jedem Arbeitsgang der Befestigung eine Vermessung des Zielobjekts durchführen möchte. Bei der Vermessung werden sequentiell die Koordinaten eines jeden Zielobjekts gemessen, um die Wiederholbarkeit der Werkzeugbefestigung zu prüfen. Ein einfacher Weg für die Bedienperson, die anfänglichen Vermessungskoordinaten einzustellen, besteht darin, jeden Rückstrahler nacheinander aus seinem Nest anzuheben und ihn gemäß einem vorgeschriebenen gestengestützten Muster herum zu bewegen. Wenn das Nachführgerät das Muster erkennt, misst es die Koordinaten des Rückstrahlers in seinem Nest. Es liegt an der Fähigkeit der Kameras des Nachführgerätes, die gestengestützten Muster über ein weites Gesichtsfeld zu erkennen, was die Bedienperson in die Lage versetzt, auf geeignete Weise zwischen den Rückstrahlern umzuschalten.

[0113] Wie bereits weiter oben erwähnt worden ist, gibt es verschiedene Typen von Verfahren oder Algorithmen, die benutzt werden können, um gestengestützte Muster zu identifizieren und diese als Befehle zu interpretieren. Hier wollen wir einige wenige Verfahren vorschlagen, wobei wir anerkennen, dass es eine breite Vielfalt von Verfahren oder Algorithmen gibt, benutzt werden können und genau so gut arbeiten können. Wie bereits weiter oben erläutert worden ist, gibt es drei Haupttypen von Mustern, die von Bedeutung sind: (1) absolute Position Einzelpunkt, (2) zeitliche Muster und (3) Bewegungsmuster. Man muss anerkennen, dass die absolute Position mit Einzelpunkt wohl die einfachste von diesen drei Kategorien ist. In diesem Fall braucht das Nachführgerät einfach nur die gemessenen Koordinaten zu vergleichen, um zu sehen, ob diese innerhalb einer spezifizierten Toleranz mit einer Koordinate auf der Oberfläche des Befehls-Tablets **300** übereinstimmen.

[0114] Zeitliche Muster sind auch relativ einfach zu identifizieren. Ein besonderes Muster könnte beispielsweise aus einer gewissen Anzahl von Ein-Aus-Wiederholungen bestehen, und den zulässigen Ein- und Aus-Zeiten können zusätzliche Zwänge auferlegt werden. In diesem Fall braucht das Nachführgerät **10** einfach die Ein- und Aus-Zeiten aufzuzeichnen und in periodischen Abständen zu prüfen, ob es eine Übereinstimmung mit einem vorher eingerichteten Muster gibt. Es wäre natürlich möglich, den Leistungspiegel herabzusetzen, anstatt das Licht völlig zum Erlöschen zu bringen, um an das Nachführgerät ein Signal zu senden. Die Herabsetzung des Pegels der rückgestrahlten Laserleistung könnte durch viele Mittel erzielt werden, wie beispielsweise unter Verwendung eines neutralen Dichtefilters, eines Polarisationsfilters oder einer Irisblende.

[0115] Bewegungsmuster können in eine, zwei oder drei Dimensionen zerlegt werden. Eine Änderung im radialen Abstand ist ein Beispiel für eine eindimensionale Bewegung. Eine Änderung in der Querbewegung (nach oben und nach unten, von einer Seite zur anderen) ist ein Beispiel für eine zweidimensionale Messung. Eine Änderung in der radialen Dimension und in den transversalen Dimensionen ist ein Beispiel für eine dreidimensionale Messung. Natürlich sind die Dimensionen, die von Interesse sind, auch diejenigen, die laufend vom System des Lasernachführgerätes überwacht werden. Ein Weg, um behilflich zu sein, die Aufgabe des Zerlegens und des Erkennens zu vereinfachen, besteht darin, dass man verlangt, dass dies innerhalb von bestimmten Rahmen hinsichtlich der Zeit und des Raumes abläuft. Zum Beispiel kann verlangt werden, dass das Muster in seinem Ausmaß zwischen 200 mm und 800 mm (acht Inch und 32 Inch) liegt und in einem Zeitrahmen zwischen einer und drei Sekunden abgeschlossen wird. Im Fall der Querbewegungen wird das Nachführgerät die Bewegungen als Änderungen der Winkel feststellen, und diese in Radian angegebenen Winkel müssen mit dem Abstand zum Zielobjekt multipliziert werden, um die Größe des Musters zu erhalten. Indem man die zulässigen Muster auf bestimmte Grenzen hinsichtlich Zeit und Raum einengt, können viele Bewegungen von einer weiteren Berücksichtigung als gestengestützte Befehle ausgeschlossen werden. Diejenigen, die verbleiben, können auf vielen unterschiedlichen Wegen bewertet werden. Zum Beispiel können die Daten zeitweilig in einem Puffer gespeichert werden, der in periodischen Zeitabständen ausgewertet wird, um zu sehen, ob eine potenzielle Übereinstimmung mit irgendeinem der erkannten gestengestützten Muster vorliegt. Ein spezieller Fall eines gestengestützten Bewegungsmusters, das besonders leicht zu identifizieren ist, liegt vor, wenn der Steuerknopf **124** in **Fig. 5A** gedrückt wird, um die Lichtquelle **122** zum Leuchten zu bringen, damit angezeigt wird, dass eine Geste ausgeführt wird. Der Computer braucht dann einfach das Muster aufzuzeichnen, das ausgeführt worden ist, wenn die Lichtquelle **122** leuchtete, und dann das Muster auszuwerten, um zu sehen, ob eine gültige Geste erzeugt worden ist. Eine ähnliche Herangehensweise kann erfolgen, wenn die Bedienperson den Steuerknopf **234** drückt, um die Lichtquelle **132** in **Fig. 5B** zum Leuchten zu bringen, oder den Steuerknopf **144** drückt, um die Lichtquelle **142** in **Fig. 5D** zum Leuchten zu bringen.

[0116] Neben diesen drei Hauptmustern ist es auch möglich, Muster zu erzeugen, die unter Verwendung eines passiven Objekts oder eines passiven Objekts in Kombination mit einem Rückstrahler erstellt werden. Zum Beispiel könnten die Kameras am Nachführgerät erkennen, dass ein besonderer Befehl immer dann gegeben wird, wenn ein passives rotes

Quadrat bestimmter Größe innerhalb des Bereichs von einem Zoll (25,4 mm) vom SMR gebracht wird.

[0117] Es wäre auch möglich, zwei der drei Hauptmuster zu kombinieren. Zum Beispiel wäre es möglich, jeweils die Geschwindigkeit der Bewegung mit einem besonderen räumlichen Muster zu kombinieren und dadurch die Mustertypen zwei und drei zu kombinieren. Als weiteres Beispiel kann die Bedienperson einen besonderen Befehl mit einem Sägezahnmuster signalisieren, das eine schnelle Bewegung nach oben umfasst, der eine langsame Rückkehr folgt. Auf ähnliche Weise könnte die Beschleunigung benutzt werden. Zum Beispiel könnte eine ruckartige Bewegung benutzt werden, um einen Laserstrahl weg in eine besondere Richtung um ein Objekt herum zu werfen.

[0118] Innerhalb der Type von Mustern sind auch Variationen möglich. Zum Beispiel innerhalb der Kategorie der räumlichen Muster wäre es möglich, zwischen kleinen Quadraten (z. B. drei Inch [76 mm] Seitenlänge) und großen Quadraten (z. B. 24 Inch [610 mm] Seitenlänge) zu unterscheiden.

[0119] Die weiter vorn diskutierten Verfahren mit Algorithmen werden mit Hilfe des in **Fig. 17** dargestellten Verarbeitungssystems **800** implementiert. Dieses Verarbeitungssystem **800** umfasst die Nachführgerät-Verarbeitungseinheit **810** und den optionalen Computer **80**. Die Verarbeitungseinheit **810** umfasst mindestens einen Prozessor, der ein Mikroprozessor, ein digitaler Signalprozessor (DSP), eine feldprogrammierbare Gate Array (FPGA) oder ein ähnliches Gerät sein kann. Derartige Prozessoren können einen Lagegeberprozessor **812**, einen Azimutkodierprozessor **814**, einen Zenitkodierprozessor **816**, einen Anzeigeleuchtenprozessor **818**, einen ADM-Prozessor **820**, einen Interferometer-Prozessor (IFM-Prozessor) **822** und einen Kameraprozessor **824** umfassen. Sie können Gesten-Vorprozessoren **826** umfassen, die zur Unterstützung der Auswertung oder der Zerlegung der Muster von Gesten dienen. Der Prozessor **870** für die Ergänzungseinheit liefert optional die Zeitgabe und die Mikroprozessorunterstützung für weitere Prozessoren innerhalb der Prozesseinheit **810** des Nachführgerätes. Er kann mit anderen Prozessoren mittels des Gerätebusses **830** kommunizieren, der Informationen überall im Nachführgerät mit Hilfe von Datenpaketen übertragen kann, wie dies auf dem Fachgebiet bekannt ist. Die Computerfähigkeiten können überall in der Verarbeitungseinheit **810** des Nachführgerätes verteilt werden, wobei DSps und FGAs die Zwischenrechnungen auf der Grundlage der von den Sensoren des Nachführgerätes gesammelten Daten ausführen. Die Ergebnisse dieser Zwischenrechnungen werden zum Prozessor **870** der Ergänzungseinheit zurückgeführt. Wie bereits weiter oben erläutert worden ist, kann die Ergänzungseinheit **70** am Hauptkörper des

Lasernachführgerätes **10** über ein langes Kabel verbunden sein, oder sie kann in den Hauptkörper des Lasernachführgerätes dergestalt eingegliedert sein, dass das Nachführgerät direkt (und wahlweise) am Computer **80** angebracht wird. Die Ergänzungseinheit **870** kann an den Computer **80** angeschlossen werden über die Verbindung **840**, die beispielsweise ein Ethernetkabel oder eine drahtlose Verbindung sein kann. Die Ergänzungseinheit **870** und der Computer **80** können an das Netzwerk über die Verbindungen **842**, **844** angeschlossen sein, welche beispielsweise Ethernetkabel oder drahtlose Verbindungen sein können.

[0120] Bei der Vorverarbeitung der Sensordaten kann die Auswertung hinsichtlich des Gehalts an Gesten durch irgendeinen der Prozessoren **812–814** erfolgen, aber es kann auch ein Prozessor **826** vorhanden sein, der spezifisch ausgelegt ist, um die Vorverarbeitung auf Gesten auszuführen. Der Gesten-Vorprozessor **826** kann ein Mikroprozessor, ein DSP, FPGA oder eine ähnliche Vorrichtung sein. Er kann einen Pufferspeicher enthalten, welcher Daten speichert, die auf den Gehalt von Gesten ausgewertet werden sollen. Die vorverarbeiteten Daten können an die Ergänzungseinheit zwecks einer endgültigen Auswertung gesandt werden, oder die endgültige Auswertung des Gehalts an Gesten kann durch den Gesten-Vorprozessor **826** ausgeführt werden. Alternativ können Rohdaten oder vorverarbeitete Daten an den Computer **80** zwecks Analyse gesandt werden.

[0121] Auch wenn der weiter oben beschriebene Einsatz von Gesten sich hauptsächlich auf ihren Einsatz mit einem einzelnen Lasernachführgerät konzentriert hat, so ist es auch vorteilhaft, Gesten einzusetzen mit Gruppen von Lasernachführgeräten oder mit Lasernachführgeräten, die mit anderen Instrumenten kombiniert sind. Eine Möglichkeit besteht darin, ein Lasernachführgerät als Master zu deklarieren, der dann die Befehle an die anderen Instrumente sendet. Zum Beispiel könnte ein Satz von vier Lasernachführgeräten bei einer mehrseitigen Messung benutzt werden, bei der dreidimensionale Koordinaten unter Verwendung lediglich der Abstände berechnet werden, die von jedem Nachführgerät gemessen werden. Die Befehle könnten an ein einzelnes Nachführgerät gegeben werden, das die Befehle an die anderen Nachführgeräte weiterleiten würde. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass man multiplen Instrumenten ermöglicht, auf die Gesten zu reagieren. Zum Beispiel wollen wir annehmen, dass ein Lasernachführgerät benutzt werde, um einen CMM-Gelenkarm zu verlagern. Ein Beispiel für ein solches System ist in US 7 804 602 B2 angeführt. In diesem Fall könnte das Lasernachführgerät in dem Verlagerungsverfahren als Master deklariert werden. Die Bedienperson gibt Gestenbefehle an das Nachführgerät, das seinerseits geeignete Befehle an den CMM-

Gelenkarm erteilt. Nach Abschluss der Verlagerungsprozedur könnte die Bedienperson ein Befehls-Tablet benutzen, um Gestenbefehle an den CMM-Gelenkarm zu geben, wie das weiter oben beschrieben ist.

[0122] Fig. 19 zeigt Schritte **1900**, die ausgeführt werden, wobei eine Geste ausgeführt wird, um einen Befehl an das Lasernachführgerät gemäß der Diskussion mit Bezug auf die Fig. 3A–B, Fig. 4A–B und Fig. 5A zu geben. Der Schritt **1910** besteht darin, eine Vorschrift für die Korrespondenz zwischen Befehlen und räumlichen Mustern zu liefern. Der Schritt **1920** ist für den Nutzer, damit dieser einen Befehl aus den möglichen Befehlen auswählt. Der Schritt **1930** ist für den Nutzer, damit dieser den Rückstrahler in ein räumliches Muster bewegt, das dem gewünschten Befehl entspricht. Das räumliche Muster könnte in Querrichtung oder radialer Richtung angelegt sein. Der Schritt **1940** besteht darin, ein Licht von dem Lasernachführgerät auf den Rückstrahler zu projizieren. Dieses Licht kann ein Lichtstrahl sein, der längs der optischen Achse der Lasernachführgerätes emittiert wird, oder es kann Licht sein, das von einer LED in der Nähe einer Kamera emittiert wird, die am Lasernachführgerät angeordnet ist. Der Schritt **1950** besteht darin, dass Licht vom Rückstrahler zurück zum Lasernachführgerät reflektiert wird. Schritt **1960** besteht darin, das reflektierte Licht abzutasten. Das Erfassen kann durch eine lichtempfindliche Anordnung innerhalb einer an Nachführgerät angebrachten Kamera oder durch einen Lagegeber in dem Nachführgerät oder durch einen Entfernungsmesser im Nachführgerät erfolgen. Schritt **1970** besteht darin, den Befehl festzulegen, der auf der Korrespondenzvorschrift beruht. Der Schritt **1980** besteht in der Ausführung des Befehls.

[0123] Fig. 20 zeigt die Schritte **2000**, die ausgeführt werden, wobei eine Geste ausgeführt wird, um einen Befehl an das Lasernachführgerät gemäß den Diskussionen mit Bezug auf Fig. 3C, Fig. 4C und Fig. 5A zu übermitteln. Schritt **2010** besteht darin, eine Vorschrift zur Korrespondenz zwischen Befehlen und dreidimensionalen Positionen zu liefern. Schritt **2020** ist für den Nutzer, damit dieser einen Befehl unter den möglichen Befehlen auswählt. Schritt **2030** ist für den Nutzer, damit dieser den Rückstrahler in eine Position bringt, die dem gewünschten Befehl entspricht, möglicherweise dadurch, dass er das Rückstrahler-Zielobjekt mit einem Befehls-Tablet in Kontakt bringt. Schritt **2040** besteht darin, ein Licht vom Lasernachführgerät auf den Rückstrahler zu projizieren. Dieses Licht kann ein Lichtstrahl sein, der längs der optischen Achse der Lasernachführgerätes emittiert wird, oder es kann Licht sein, das von einer LED in der Nähe einer Kamera emittiert wird, die am Lasernachführgerät angeordnet ist. Der Schritt **2050** besteht darin, dass Licht vom Rückstrahler zurück zum Lasernachführgerät reflektiert wird. Schritt **2060** besteht darin, das reflektierte Licht abzutasten. Das Er-

fassen kann durch eine lichtempfindliche Anordnung innerhalb einer am Nachführgerät angebrachten Kamera, durch einen Lagegeber in dem Nachführgerät oder durch einen Entfernungsmesser im Nachführgerät erfolgen. Schritt **2070** besteht darin, den Befehl festzulegen, der auf der Korrespondenzvorschrift beruht. Der Schritt **2080** besteht in der Ausführung des Befehls.

[0124] Fig. 21 zeigt die Schritte **2100**, die ausgeführt werden, wobei eine Geste ausgeführt wird, um einen Befehl an das Lasernachführgerät gemäß den Diskussionen mit Bezug auf **Fig. 3D** und **Fig. 5A** zu übermitteln. Schritt **2110** besteht darin, eine Vorschrift zur Korrespondenz zwischen Befehlen und zeitlichen Mustern zu liefern. Schritt **2120** ist für den Nutzer, damit dieser einen Befehl unter den möglichen Befehlen auswählt. Schritt **2130** besteht darin, ein Licht vom Lasernachführgerät auf den Rückstrahler zu projizieren. Dieses Licht kann ein Lichtstrahl sein, der längs der optischen Achse der Lasernachführgerätes emittiert wird, oder es kann Licht sein, das von einer LED in der Nähe einer Kamera emittiert wird, die am Lasernachführgerät angeordnet ist. Der Schritt **2140** besteht darin, dass Licht vom Rückstrahler zurück zum Lasernachführgerät reflektiert wird. Schritt **2150** besteht darin, dieses reflektierte Licht abzutasten. Dieses Erfassen kann durch eine lichtempfindliche Anordnung innerhalb einer am Nachführgerät angebrachten Kamera, durch einen Lagegeber in dem Nachführgerät oder durch einen Entfernungsmesser im Nachführgerät erfolgen. Schritt **2160** ist für den Nutzer, damit dieser ein zeitliches Muster in der optischen Leistung erzeugt, die von den Sensoren am Lasernachführgerät aufgenommen wird. Ein derartiges zeitliches Muster wird einfach erreicht durch das Blockieren und Freigeben eines Lichtstrahles, wie das weiter unten noch diskutiert wird. Schritt **2170** besteht darin, den Befehl festzulegen, der auf der Korrespondenzvorschrift beruht. Der Schritt **2180** besteht in der Ausführung des Befehls.

[0125] Fig. 22 zeigt die Schritte **2200**, die ausgeführt werden, wobei eine Geste ausgeführt wird, um einen Befehl an ein Lasernachführgerät mit sechs Freiheitsgraden gemäß den Diskussionen mit Bezug auf **Fig. 3E** und **Fig. 5B** zu übermitteln. Schritt **2210** besteht darin, eine Vorschrift zur Korrespondenz zwischen Befehlen und der Pose eines Zielobjekts mit sechs Freiheitsgraden zu liefern. Schritt **2220** ist für den Nutzer, damit dieser einen Befehl unter den möglichen Befehlen auswählt. Schritt **2230** besteht darin, das Nachführgerät mit sechs Freiheitsgraden zur Messung von mindestens einer Koordinate eines Zielobjekts mit sechs Freiheitsgraden in einer ersten Pose zu benutzen. Eine Pose enthält drei Translationskoordinaten (z. B. x , y , z) und drei Richtungskoordinaten (z. B. Drehen, Neigen, Schwenken). Schritt **2240** ist für den Benutzer, dass dieser mindestens eine der sechs Dimensionen der Pose des Zielob-

jekts mit sechs Freiheitsgraden ändert. Schritt **2250** besteht darin, die mindestens eine Koordinate einer zweiten Pose zu messen, welche diejenige Pose ist, die sich ergibt, nachdem der Nutzer Schritt **2240** abgeschlossen hat. Schritt **2260** besteht darin, den Befehl festzulegen, der auf der Korrespondenzvorschrift beruht. Schritt **2270** besteht in der Ausführung des Befehls.

[0126] Fig. 23 zeigt die Schritte **2300**, die ausgeführt werden, wobei eine Geste ausgeführt wird, um einen Befehl an das Lasernachführgerät zu geben, um den Laserstrahl vom Lasernachführgerät zum Zielobjekt zu richten und dem Zielobjekt aufzusynchronisieren. Schritt **2310** besteht darin, Licht auf den Rückstrahler zu projizieren. Dieses Licht kann ein Licht sein, das von einer LED in der Nähe einer Kamera emittiert wird, die am Lasernachführgerät angeordnet ist. Der Schritt **2320** ist für den Nutzer, damit dieser den Rückstrahler in ein vorbestimmtes räumliches Muster bewegt. Der Schritt **2340** besteht darin, dass Licht vom Rückstrahler zurück zum Lasernachführgerät reflektiert wird. Schritt **2340** besteht darin, dieses reflektierte Licht abzutasten. Dieses Erfassen kann beispielsweise durch eine lichtempfindliche Anordnung innerhalb einer am Nachführgerät angebrachten Kamera erfolgen. Schritt **2350** besteht darin, den Befehl festzulegen, der auf der Korrespondenzvorschrift beruht. Schritt **2360** besteht darin, den Lichtstrahl von Nachführgerät auf den Rückstrahler zu richten. Schritt **2370** besteht darin, den Laserstrahl vom Nachführgerät dem Rückstrahler aufzusynchronisieren.

[0127] Fig. 24 zeigt die Schritte **2400**, die ausgeführt werden, wobei eine Geste ausgeführt wird, um einen Befehl an das Lasernachführgerät zu geben, um den Laserstrahl vom Lasernachführgerät zum Zielobjekt zu richten und diesen dem Zielobjekt aufzusynchronisieren. Schritt **2410** besteht darin, Licht auf den Rückstrahler zu projizieren. Dieses Licht kann ein Licht sein, das von einer LED in der Nähe einer Kamera emittiert wird, die am Lasernachführgerät angeordnet ist. Der Schritt **2420** besteht darin, dass Licht vom Rückstrahler zurück zum Lasernachführgerät reflektiert wird. Schritt **2430** besteht darin, dieses reflektierte Licht abzutasten. Dieses Erfassen kann beispielsweise durch eine lichtempfindliche Anordnung innerhalb einer am Nachführgerät angebrachten Kamera erfolgen. Schritt **2440** besteht darin, ein vorher festgelegtes zeitliches Muster zu erzeugen, wie das bereits weiter oben diskutiert worden ist. Schritt **2450** besteht darin, den Befehl festzulegen, der auf der Korrespondenzvorschrift beruht. Schritt **2460** besteht darin, den Lichtstrahl von Nachführgerät auf den Rückstrahler zu richten. Schritt **2470** besteht darin, den Laserstrahl vom Nachführgerät dem Rückstrahler aufzusynchronisieren.

[0128] Fig. 25 zeigt die Schritte **2500**, die ausgeführt werden, wobei eine Geste ausgeführt wird, um einen Befehl an das Lasernachführgerät zu geben, um den Laserstrahl vom Lasernachführgerät zum Zielobjekt zu richten und diesen dem Zielobjekt aufzusynchronisieren. Schritt **2510** besteht darin, Licht auf den Rückstrahler zu projizieren. Dieses Licht kann ein Licht sein, das von einer LED in der Nähe einer Kamera emittiert wird, die am Lasernachführgerät angeordnet ist. Der Schritt **2520** besteht darin, mindestens eine Koordinate einer ersten Pose eines Zielobjekts mit sechs Freiheitsgraden zu messen. Wie bereits weiter oben diskutiert worden ist, enthält die Pose drei Freiheitsgrade der Translation und drei Freiheitsgrade der Orientierung. Schritt **2530** besteht darin, mindestens eine Koordinate einer ersten Pose zu ändern. Schritt **2540** besteht darin, die mindestens eine Koordinate einer zweiten Pose zu messen, die diejenige Pose ist, die sich ergibt, nachdem mindestens eine Koordinate der Sechs-FG-Sonde geändert worden ist. Schritt **2550** besteht darin festzustellen, dass die Korrespondenzvorschrift erfüllt worden ist. Schritt **2560** besteht darin, den Lichtstrahl vom Nachführgerät auf den Rückstrahler zu richten. Schritt **2570** besteht im Verriegeln auf den Rückstrahler mit dem Laserstrahl vom Nachführgerät.

Patentansprüche

1. Verfahren zur optischen Übermittlung eines Befehls zur Steuerung des Betriebs des Lasernachführgerätes (**10**) von einem Nutzer zu einem Lasernachführgerät (**10**) in Schritten, die Folgendes umfassen:

- Bereitstellen einer Korrespondenzvorschrift zwischen einem jeden aus einer gewissen Anzahl von Befehlen und einem jeden aus einer gewissen Anzahl von räumlichen Mustern;
- Auswählen eines ersten Befehls aus der gewissen Anzahl von Befehlen durch den Nutzer;
- Bewegen eines Rückstrahlers (**26**) in einem ersten räumlichen Muster aus einer gewissen Anzahl von räumlichen Mustern durch den Nutzer zwischen einem ersten und einem zweiten Zeitpunkt, wobei das erste räumliche Muster dem ersten Befehl entspricht;
- Projizieren eines ersten Lichtsignals (**46**) vom Lasernachführgerät (**10**) auf den Rückstrahler (**26**);
- Reflektieren eines zweiten Lichtsignals vom Rückstrahler (**26**), wobei dieses zweite Lichtsignal ein Teil des ersten Lichtsignals (**46**) ist;
- Erhalten von ersten erfassten Daten durch das Erfassen eines dritten Lichtsignals, wobei dieses dritte Lichtsignal ein Teil des zweiten Lichtsignals ist und wobei die ersten erfassten Daten vom Lasernachführgerät (**10**) zwischen dem ersten und dem zweiten Zeitpunkt erhalten werden;
- Festlegen des ersten Befehls, der zumindest teilweise auf der Verarbeitung der ersten erfassten Daten entsprechend der Korrespondenzvorschrift beruht und

– Ausführen des ersten Befehls mit dem Lasernachführgerät (**10**).

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Erhaltens der ersten erfassten Daten außerdem die folgenden Schritte umfasst:

- Abbilden des dritten Lichtsignals auf einer lichtempfindlichen Anordnung, die am Lasernachführgerät (**10**) angeordnet ist, und
- Erhalten der ersten erfassten Daten durch Umwandlung des dritten Lichtsignals auf der lichtempfindlichen Anordnung in die digitale Form.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Erhaltens der ersten erfassten Daten außerdem die folgenden Schritte umfasst:

- Abfangen des dritten Lichtsignals mit einem am Lasernachführgerät (**10**) angeordneten Lagegeber, um mindestens ein Signal zu erzeugen, und
- Umwandeln des mindestens einen Signals in digitale Form, um die ersten erfassten Daten zu erhalten.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Erhaltens der ersten erfassten Daten außerdem einen Schritt der Messung des dritten Lichtsignals mit einem am Lasernachführgerät (**10**) befindlichen Entfernungsmesser umfasst, um den Abstand vom Lasernachführgerät (**10**) zum Rückstrahler (**26**) zu ermitteln, wobei die ersten erfassten Daten der gemessene Abstand ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem der Schritt der Messung des dritten Lichtsignals mit einem Entfernungsmesser außerdem einen Schritt der Messung der absoluten Entfernung vom Lasernachführgerät (**10**) zum Rückstrahler (**26**) mit einem absoluten Entfernungsmesser umfasst.

6. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem der Schritt des Projizierens eines ersten Lichtsignals (**46**) vom Lasernachführgerät (**10**) zum Rückstrahler (**26**) außerdem einen Schritt des Aufleuchtens einer am Lasernachführgerät (**10**) befindlichen LED zum Zweck des Projizierens des ersten Lichtsignals (**46**) umfasst.

7. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Projizierens eines ersten Lichtsignals (**46**) vom Lasernachführgerät (**10**) zum Rückstrahler (**26**) außerdem die folgenden Schritte umfasst:

- Ausstatten des Lasernachführgerätes (**10**) mit einer um eine erste Achse (**20**) und eine zweite Achse (**18**) drehbaren Struktur (**15**), mit einem Entfernungsmesser, mit einem ersten Winkelkodierer, der einen ersten Drehwinkel um die erste Achse (**20**) misst, mit einem zweiten Winkelkodierer, der einen zweiten Drehwinkel um die zweite Achse (**18**) misst, und mit einem Lagegeber; und
- Aussenden des ersten Lichtsignals (**46**) längs einer Linie rechtwinklig zur zweiten Achse (**18**), wobei das erste Lichtsignal (**46**) sich längs einer Linie bewegt,

die annähernd durch einen Schnittpunkt (**22**) der ersten Achse (**20**) mit der zweiten Achse (**18**) führt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem der Schritt des Projizierens eines ersten Lichtsignals (**46**) vom Lasernachführgerät (**10**) zum Rückstrahler (sechsten **20**) außerdem einen Schritt der Lenkung des ersten Lichtsignals (**46**) in Reaktion auf die Stelle des dritten Lichtsignals auf dem Lagegeber umfasst.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem der Schritt des Erhaltens der ersten erfassten Daten außerdem einen Schritt der Messung des ersten Drehwinkels oder des zweiten Drehwinkels umfasst, um die ersten erfassten Daten zu erhalten.

10. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem der Schritt des Erhaltens der ersten erfassten Daten außerdem einen Schritt der Messung des Abstandes vom Lasernachführgerät (**10**) zum Rückstrahler (sechste **20**) mit einem Entfernungsmesser umfasst, um die ersten erfassten Daten zu erhalten.

11. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt der Festlegung des ersten Befehls außerdem die folgenden Schritte umfasst:

- Bereitstellen eines Zielobjekts (**120**), umfassend: den Rückstrahler (**26**, **126**), eine Zielobjekt-Lichtquelle (**122**), die ein viertes Lichtsignal projiziert, und eine nutzergesteuerte Vorrichtung (**124**), welche die Emission des vierten Lichtsignals steuert;
- Aktivieren der nutzergesteuerten Vorrichtung (**124**);
- Erhalten, in Reaktion auf die Aktivierung der nutzergesteuerten Vorrichtung (**124**), von zweiten erfassten Daten durch Erfassen eines Teils des vierten Lichtsignals und
- Festlegen des ersten Befehls, der zumindest teilweise auf den zweiten erfassten Daten beruht.

12. Verfahren zur optischen Übermittlung eines Befehls zur Steuerung des Betriebs des Lasernachführgerätes (**10**) von einem Nutzer zu einem Lasernachführgerät (**10**) in Schritten, die Folgendes umfassen:

- Bereitstellen einer Korrespondenzvorschrift zwischen einem jeden aus einer gewissen Anzahl von Befehlen und einer jeden aus einer gewissen Anzahl von Positionen, wobei jede Position eine dreidimensionale Koordinate ist;
- Auswählen eines ersten Befehls aus der gewissen Anzahl von Befehlen durch den Nutzer;
- Bewegen eines Rückstrahlers (**26**) in eine erste Position aus einer gewissen Anzahl von Positionen durch den Nutzer, wobei die erste Position dem ersten Befehl entspricht;
- Projizieren eines ersten Lichtsignals (**46**) vom Lasernachführgerät (**10**) auf den Rückstrahler (**26**);
- Reflektieren eines zweiten Lichtsignals vom Rückstrahler (**26**), wobei dieses zweite Lichtsignal ein Teil des ersten Lichtsignals (**46**) ist;

- Erhalten von ersten erfassten Daten durch Erfassen eines dritten Lichtsignals, wobei dieses dritte Lichtsignal ein Teil des zweiten Lichtsignals ist;
- Festlegen des ersten Befehls, der zumindest teilweise auf der Verarbeitung der ersten erfassten Daten entsprechend der Korrespondenzvorschrift beruht, und
- Ausführen des ersten Befehls mit dem Lasernachführgerät (**10**).

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem der Schritt des Bewegens eines Rückstrahlers (**26**) in eine erste Position durch den Benutzer außerdem den Schritt des Bewegens des Rückstrahlers (**26**) zu einem Befehls-Tablet durch den Benutzer umfasst, wobei sich auf dem Befehls-Tablet (**300**) eine gewisse Anzahl von markierten Bereichen befinden, wobei ein jeder aus der Anzahl der markierten Bereiche einer Position aus der gewissen Anzahl von Positionen entspricht, die mit einem Teil von einem Befehl oder dem ganzen Befehl aus der gewissen Anzahl von Befehlen verknüpft sind.

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem der Schritt der Festlegung des ersten Befehls außerdem einen Schritt der Berührung zwischen einem Zielobjekt, das den Rückstrahler (**26**) umfasst, und dem Befehls-Tablet (**300**) an drei Bezugspunkten (**312**, **314**, **316**) umfasst.

15. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem der Schritt der Festlegung des ersten Befehls die folgenden Schritte umfasst:

- Bereitstellen einer um eine erste Achse (**20**) und eine zweite Achse (**18**) drehbaren Struktur (**15**), eines ersten Winkelkodierers, der einen ersten Drehwinkel um die erste Achse (**20**) misst, eines zweiten Winkelkodierers, der einen zweiten Drehwinkel um die zweite Achse (**18**) misst;
- Messen des ersten Drehwinkels um die erste Achse (**20**) mit dem ersten Winkelkodierer;
- Messen des zweiten Drehwinkels um die zweite Achse (**18**) mit dem zweiten Winkelkodierer und
- Festlegen des ersten Befehls, der zumindest teilweise auf dem ersten Drehwinkel um die erste Achse (**20**) und dem zweiten Drehwinkel um die zweite Achse (**18**) beruht.

16. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem der Schritt des Erhaltens der ersten erfassten Daten außerdem die folgenden Schritte umfasst:

- Abbilden des dritten Lichtsignals auf einer ersten lichtempfindlichen Anordnung am Lasernachführgerät (**10**) und
- Erhalten der ersten erfassten Daten durch Umwandlung des dritten Lichtsignals auf der ersten lichtempfindlichen Anordnung in eine erste digitale Information, wobei die ersten erfassten Daten zumindest teilweise auf der ersten digitalen Information beruhen.

17. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem der Schritt des Projizierens eines ersten Lichtsignals (**46**) vom Lasernachführgerät (**10**) auf den Rückstrahler (**26**) außerdem einen Schritt des Aufleuchtens einer am Lasernachführgerät (**10**) angebrachten LED (**54**) zum Zweck des Projizierens des ersten Lichtsignals (**46**) umfasst.

18. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem der Schritt des Festlegens des ersten Befehls außerdem die folgenden Schritte umfasst:

- Erfassen eines vierten Lichtsignals, wobei dieses vierte Lichtsignal ein Teil des zweiten Lichtsignals ist;
- Abbilden des vierten Lichtsignals auf eine zweite lichtempfindliche Anordnung, die sich am Lasernachführgerät (**10**) befindet;
- Erhalten von zweiten erfassten Daten durch Umwandlung des vierten Lichtsignals in zweite digitale Informationen, wobei die zweiten erfassten Daten zumindest teilweise auf den zweiten digitalen Informationen beruhen, und
- Festlegen des ersten Befehls, der zumindest teilweise auf dem ersten Drehwinkel um die erste Achse (**20**), dem zweiten Drehwinkel um die zweite Achse (**18**), den ersten erfassten Daten und den zweiten erfassten Daten beruht.

19. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem der Schritt des Festlegens des ersten Befehls außerdem die folgenden Schritte umfasst:

- Drehen der ersten Achse des Lasernachführgerätes (**10**) in einen dritten Drehwinkel um die erste Achse (**20**);
- Messen des dritten Drehwinkels um die erste Achse (**20**) mit dem ersten Winkelkodierer;
- Projizieren eines fünften Lichtsignals vom Lasernachführgerät (**10**) zum Rückstrahler (**26**);
- Reflektieren eines sechsten Lichtsignals vom Rückstrahler (**26**), wobei dieses sechste Lichtsignal ein Teil des fünften Lichtsignals ist;
- Abbilden eines siebten Lichtsignals auf die erste lichtempfindliche Anordnung, wobei dieses siebte Lichtsignal ein Teil des sechsten Lichtsignals ist;
- Erhalten von dritten erfassten Daten durch Umwandlung des siebten Lichtsignals auf der ersten lichtempfindlichen Anordnung in dritte digitale Informationen, wobei diese dritten erfassten Daten zumindest teilweise auf der dritten digitalen Information beruhen, und
- Festlegen des ersten Befehls, der zumindest teilweise auf dem ersten Drehwinkel um die erste Achse (**20**), dem dritten Drehwinkel um die erste Achse (**20**), den ersten erfassten Daten und den dritten erfassten Daten beruht.

20. Verfahren nach Anspruch 15, bei dem der Schritt des Festlegens des ersten Befehls außerdem die folgenden Schritte umfasst:

- Ausstatten des Lasernachführgerätes (**10**) mit einem Entfernungsmesser und einem Lagegeber;

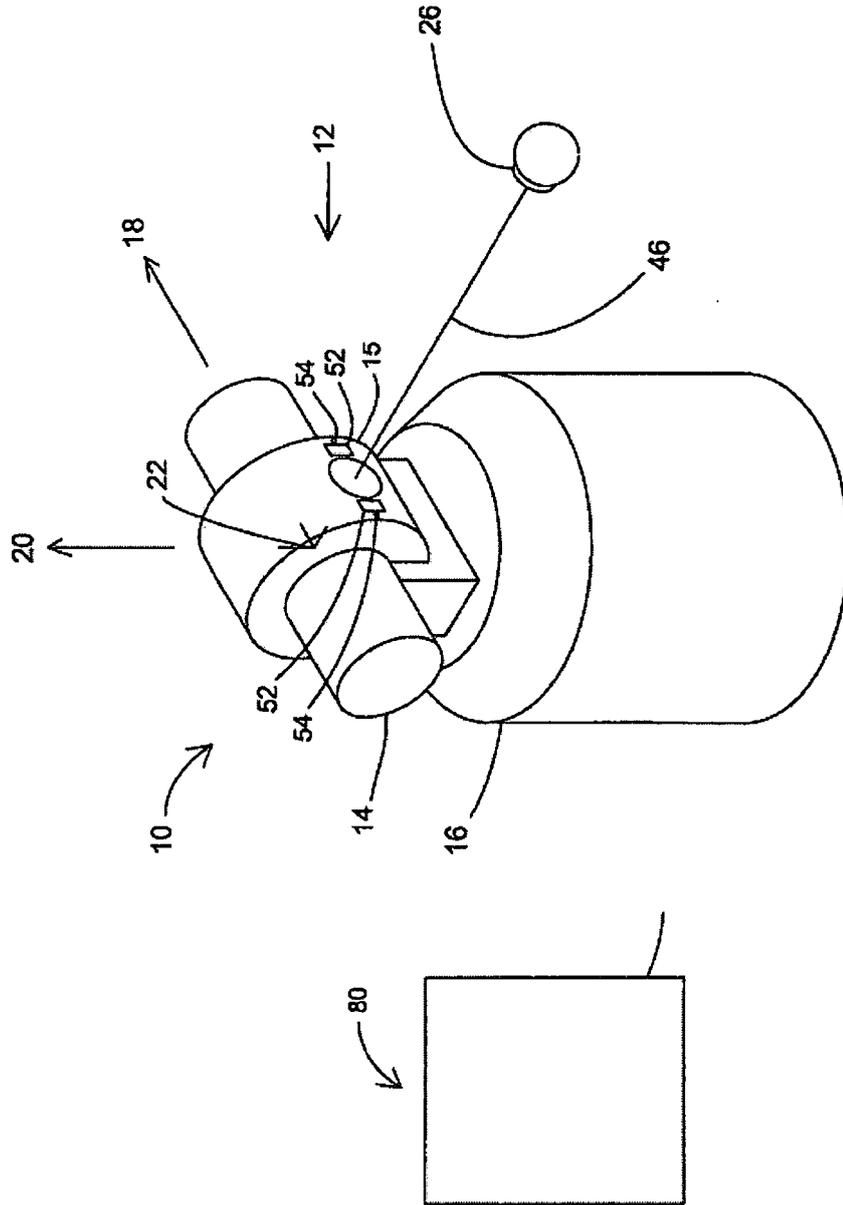
- Abfangen des dritten Lichtsignals mit dem Lagegeber, um mindestens ein Signal zu erhalten;
- Erhalten der ersten erfassten Daten durch Umwandlung des mindestens einen Signals in vierte digitale Informationen, wobei die ersten erfassten Daten zumindest teilweise auf den vierten digitalen Informationen beruhen;
- Ausrichten des ersten Lichtsignals (**46**) in Reaktion auf die ersten erfassten Daten;
- Erhalten von vierten erfassten Daten durch Messen eines vierten Lichtsignals mit einem Entfernungsmesser, wobei dieses vierte Lichtsignal ein Teil des zweiten Lichtsignals ist, und
- Festlegen des ersten Befehls, der zumindest teilweise auf dem ersten Drehwinkel um die erste Achse (**20**), dem zweiten Drehwinkel um die zweite Achse (**18**), den ersten erfassten Daten und den vierten erfassten Daten beruht.

21. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem der Schritt des Festlegens des ersten Befehls außerdem die folgenden Schritte umfasst:

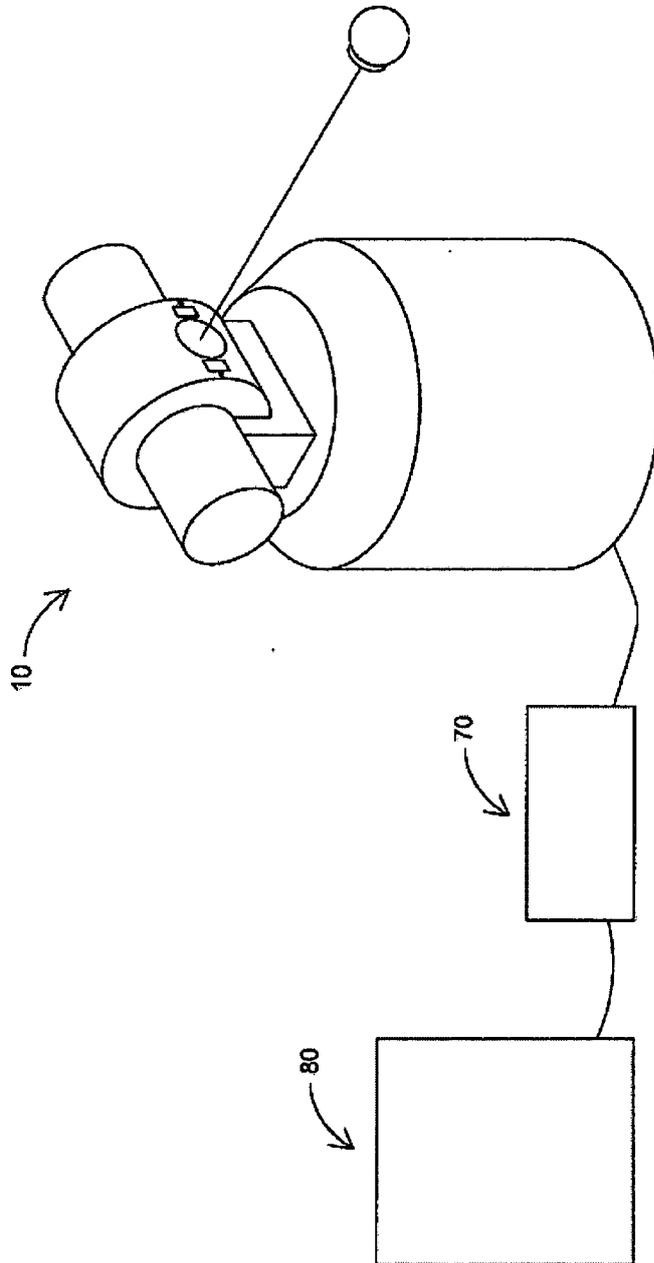
- Bereitstellen eines Zielobjekts (**120**), umfassend: den Rückstrahler (**26**, **126**), eine Zielobjekt-Lichtquelle (**122**), die ein achttes Lichtsignal projiziert, und eine nutzergesteuerte Vorrichtung (**124**), welche die Emission des achten Lichtsignals steuert;
- Aktivieren der nutzergesteuerten Vorrichtung (**124**);
- Erhalten, als Reaktion auf die Aktivierung der nutzergesteuerten Vorrichtung (**124**), von fünften erfassten Daten durch Erfassen eines Teils des achten Lichtsignals und
- Festlegen des ersten Befehls, der zumindest teilweise auf den fünften Abtastwerten beruht.

Es folgen 25 Seiten Zeichnungen

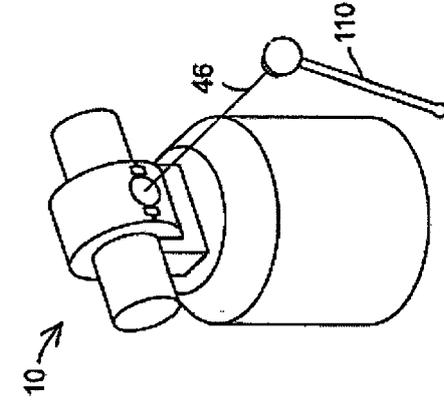
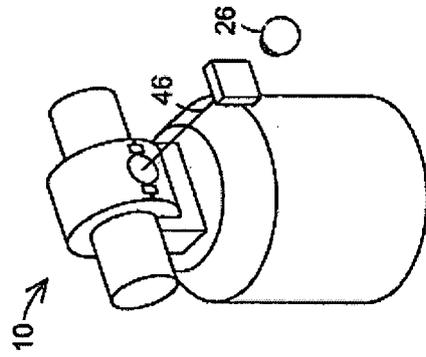
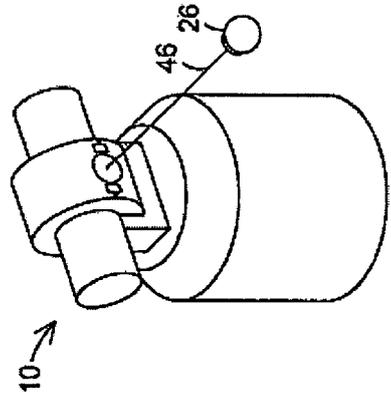
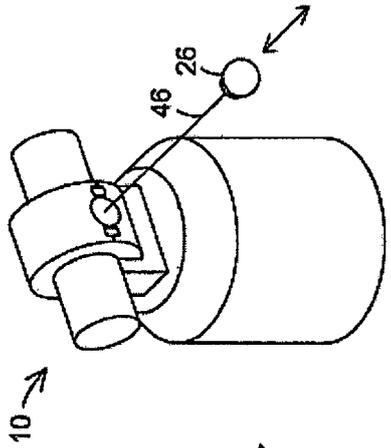
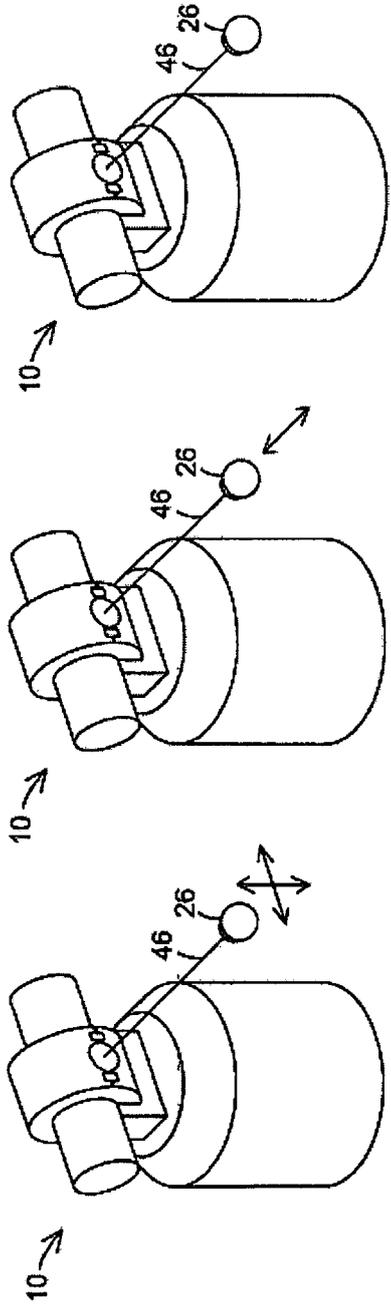
Anhängende Zeichnungen

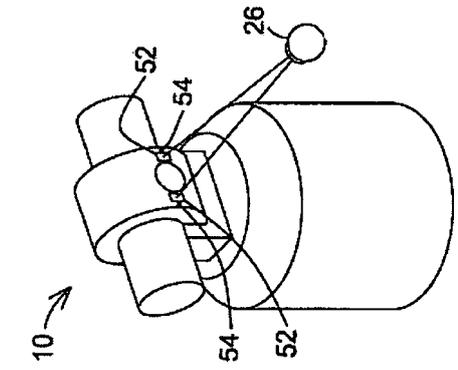


FIGUR 1

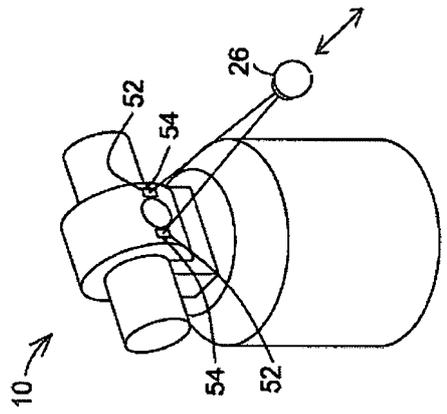


FIGUR 2

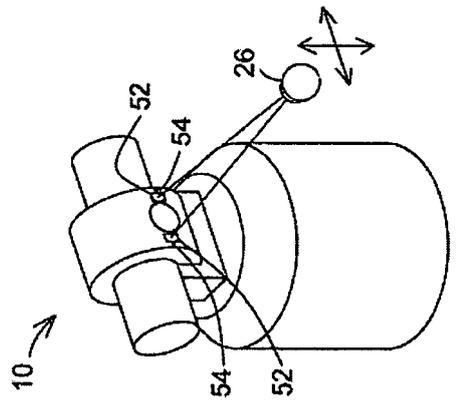




FIGUR 4C



FIGUR 4B



FIGUR 4A

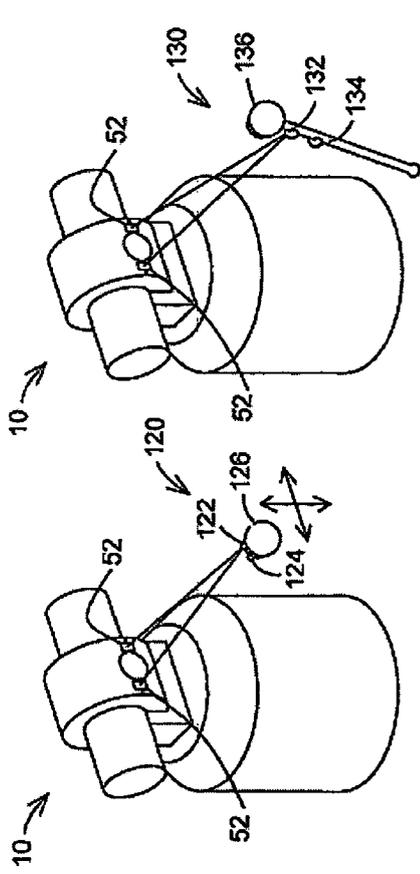


FIGURE 5A

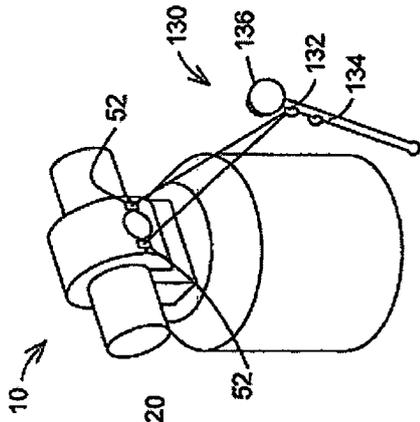


FIGURE 5B

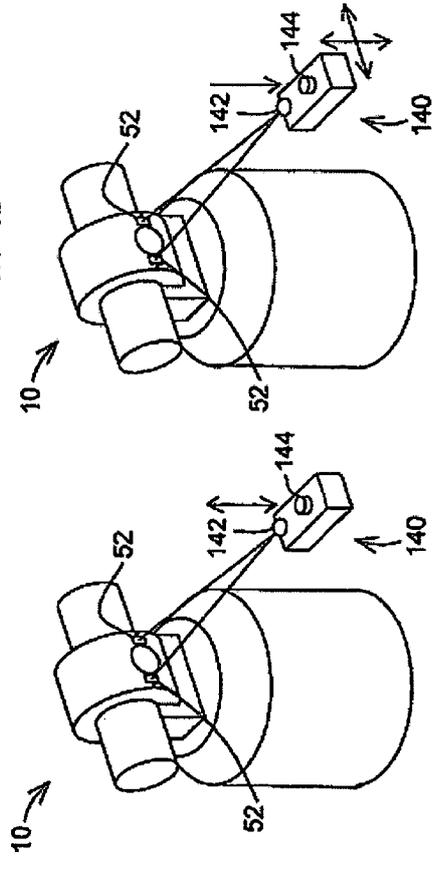


FIGURE 5C

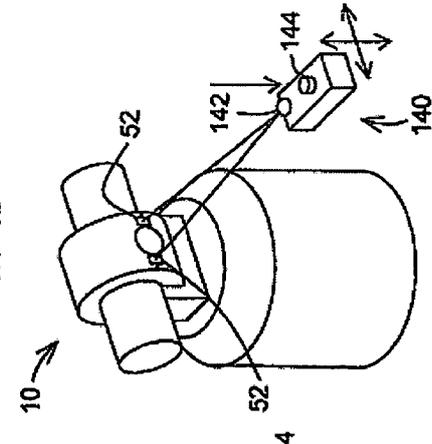
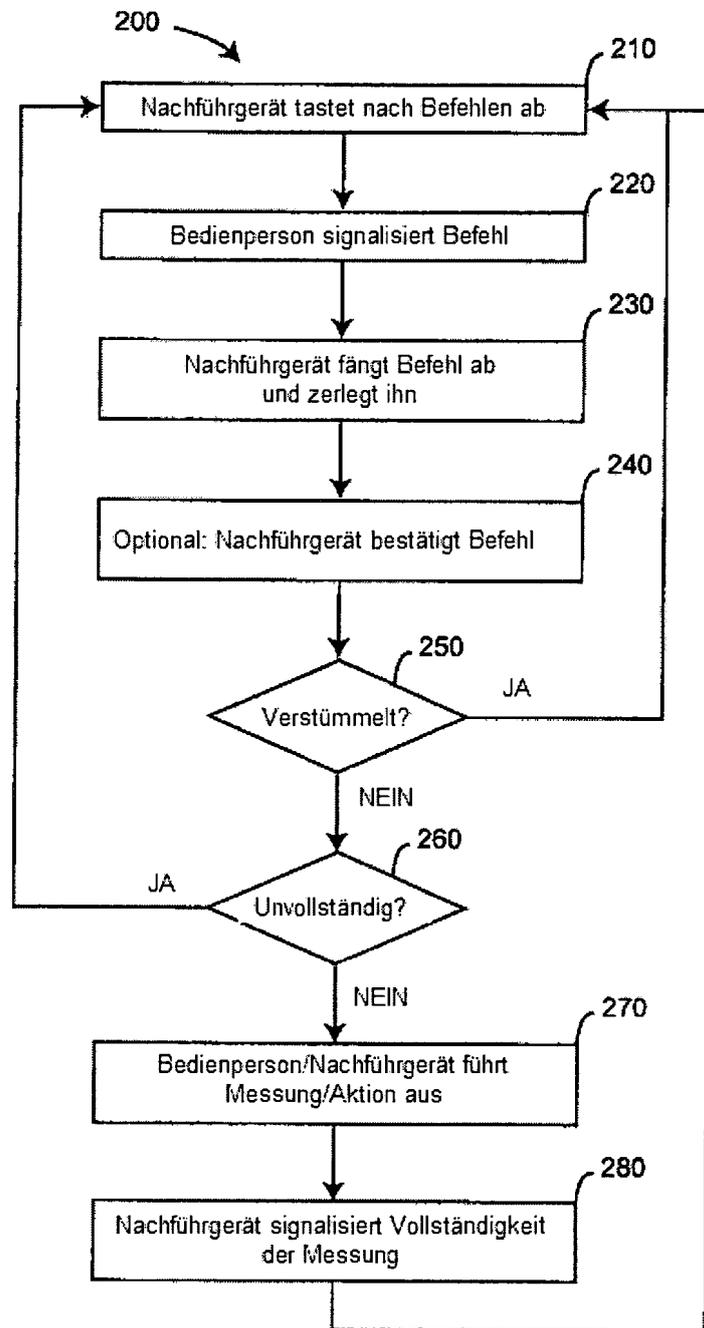
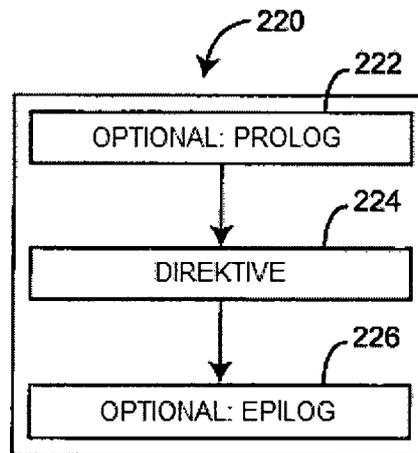


FIGURE 5D



FIGUR 6



FIGUR 7

Befehl	Software-Kürzel	Beispiel 1 Geste	Beispiel 2 Geste
Löschen	Esc		
Messung eines vergleichweisen abseitigen Punktes	F2		
Messung eines vergleichweisen Achsenpunktes	I		
Messung einer Ebene	F3		
Messung einer 2D-Linie	F4		
Messung eines Kreises	F10		
Messung eines Zylinders	F8		
Messung einer Kugel	F12		
Änderung des SMR	P		
Zurücksetzen des Interferometers	T		

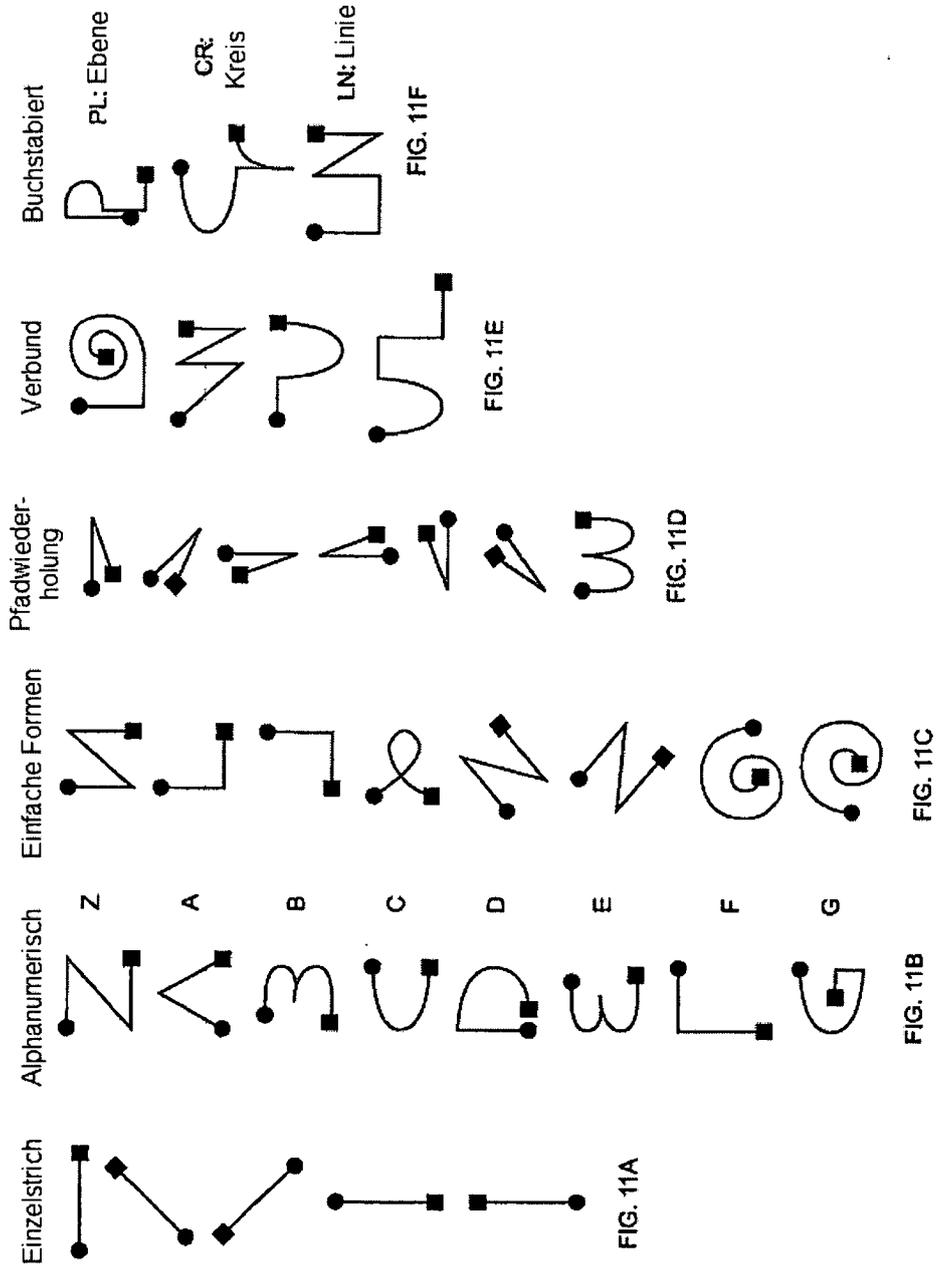
FIGUR 8

Befehl	Software-Kürzel	Beispiel 1 Geste	Beispiel 2 Geste
Einstellen Entfernungsmodus	N		
Suche	S		
Einzelpunkt-Umschaltung/ Erfassmodi	X		
Materialstärke	M		
Sammeln von Ablesewerten	Insert		
Kompensation Punkt	Home		
Entfernen von Ablesewerten	←		
Automatische Einstellung unter Verwendung des SMR	N/A		
Automatische Einstellung unter Verwendung des internen Rückstrählers	N/A		
Initialisierung des Befehls-Tablets	N/A		

FIGUR 9

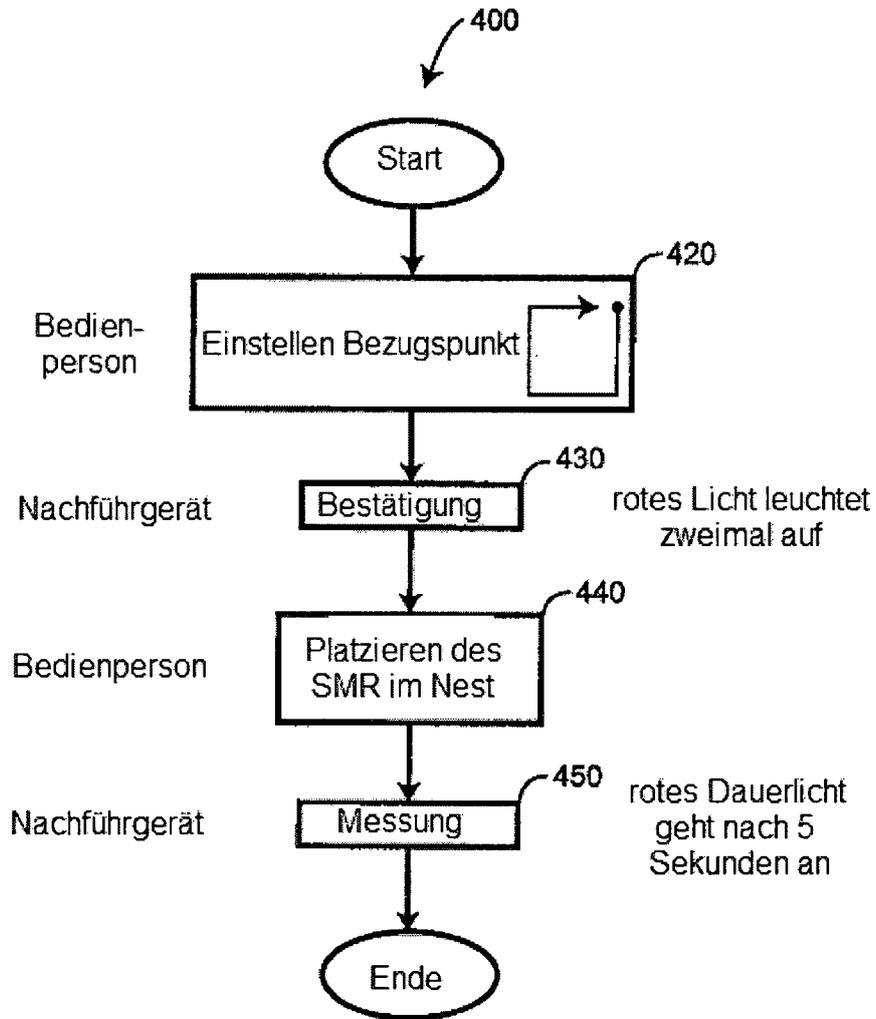
Befehl	Software-Kürzel	Beispiel 1 Geste	Beispiel 2 Geste
Einstellen des Bezugspunktes	N/A		
Benutzerdefiniert 1	N/A		
Benutzerdefiniert 2	N/A		
Benutzerdefiniert 3	N/A		
Benutzerdefiniert 4	N/A		
Benutzerdefiniert 5	N/A		
Benutzerdefiniert 6	N/A		
Erfassung SMR	N/A		

FIGUR 10

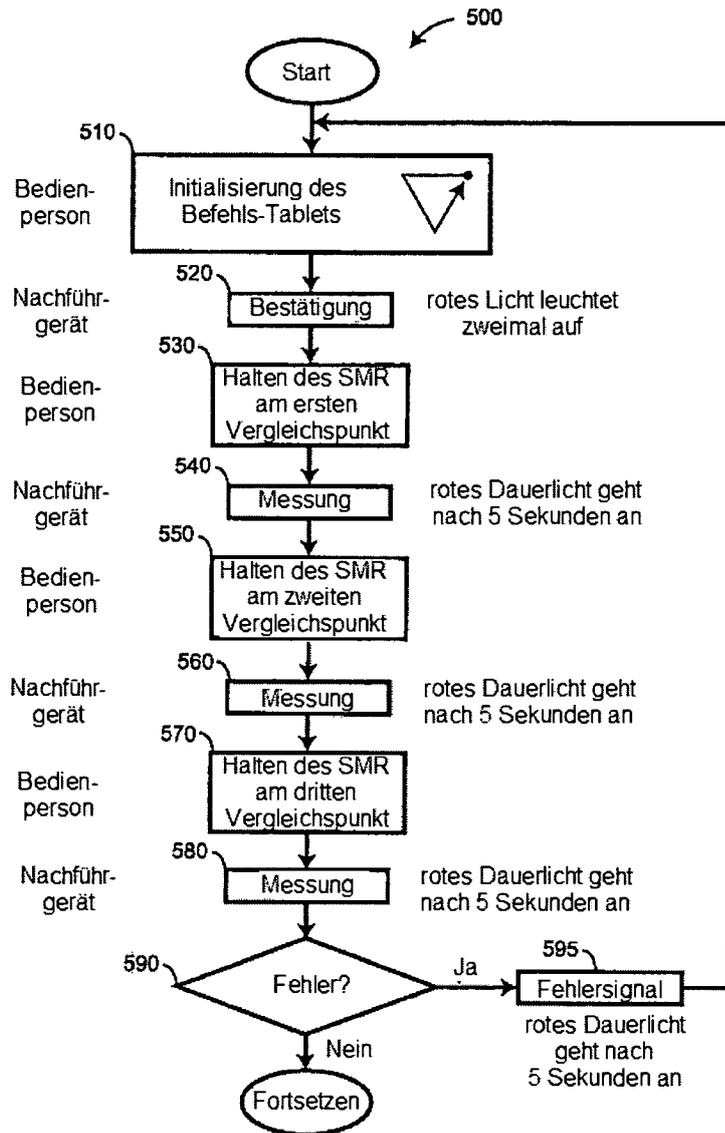


+	Löschen	Messung eines vergl. abseit. Punktes	Messung eines vergl. Achsenpunktes	Messung einer Ebene	+
Messung einer 2D-Linie	Messung eines Kreises	Messung eines Zylinders	Messung einer Kugel	Änderung des SMR	Rücksetzen des Interferometers
Einstellen Entfernungsmodus	Einzelpunkt-Umschaltung, Erfassmodi	Materialstärke	Sammeln Ablesewerte	Vergleich Punkt	Entfernen Ablesewert
Automat. Einstellung ADM mit SMR	Automat. Einst. ADM mit internen Rückstrahler	Einstellen Bezugspunkt	Stift Nest	Rand Nest	Flache Nest
0.5" SMR	0.875" SMR	1.5" SMR	Benutzerdefiniert 1	Benutzerdefiniert 2	Benutzerdefiniert 3
Links	Rechts	Nach unten	Nach oben	Nach innen	Nach außen
1	2	3	4	5	6
+	7	8	9	0	.

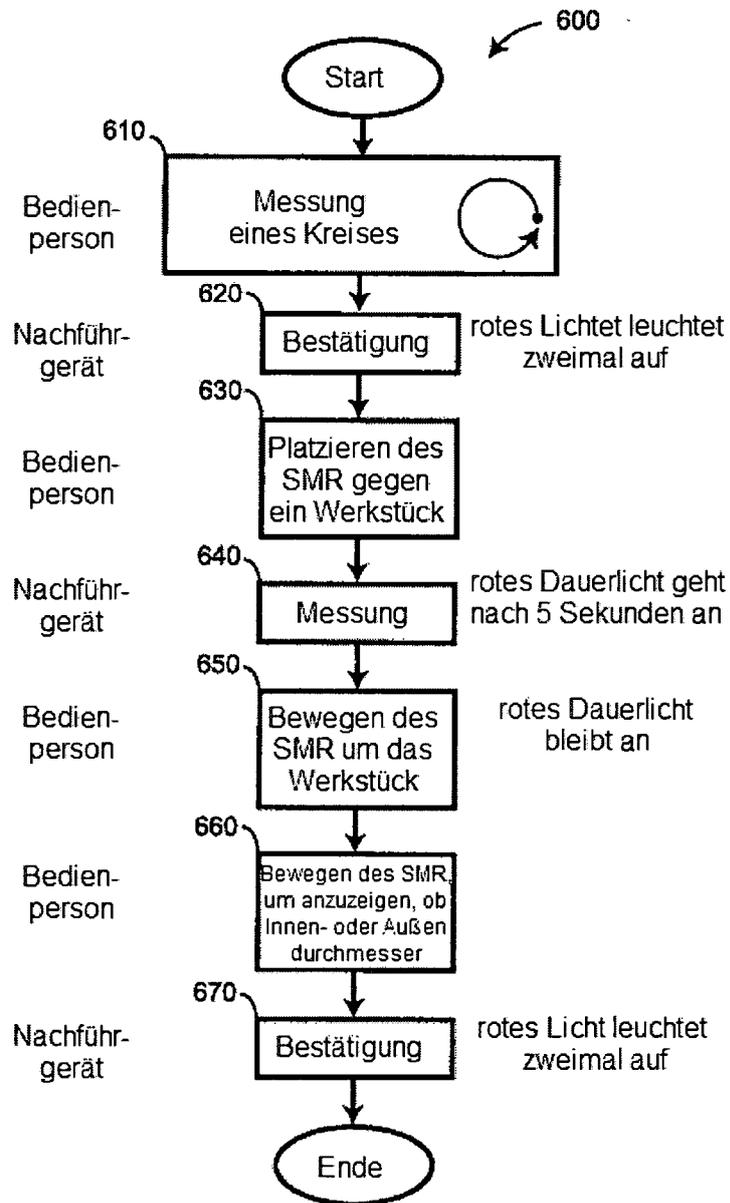
FIGUR 12



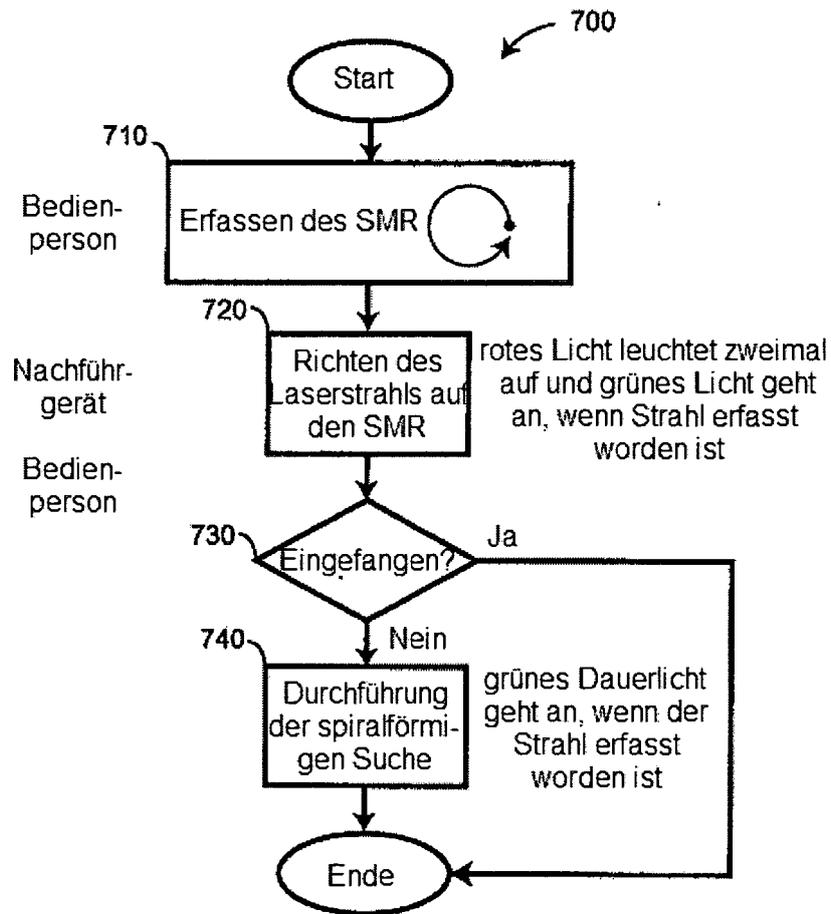
FIGUR 13



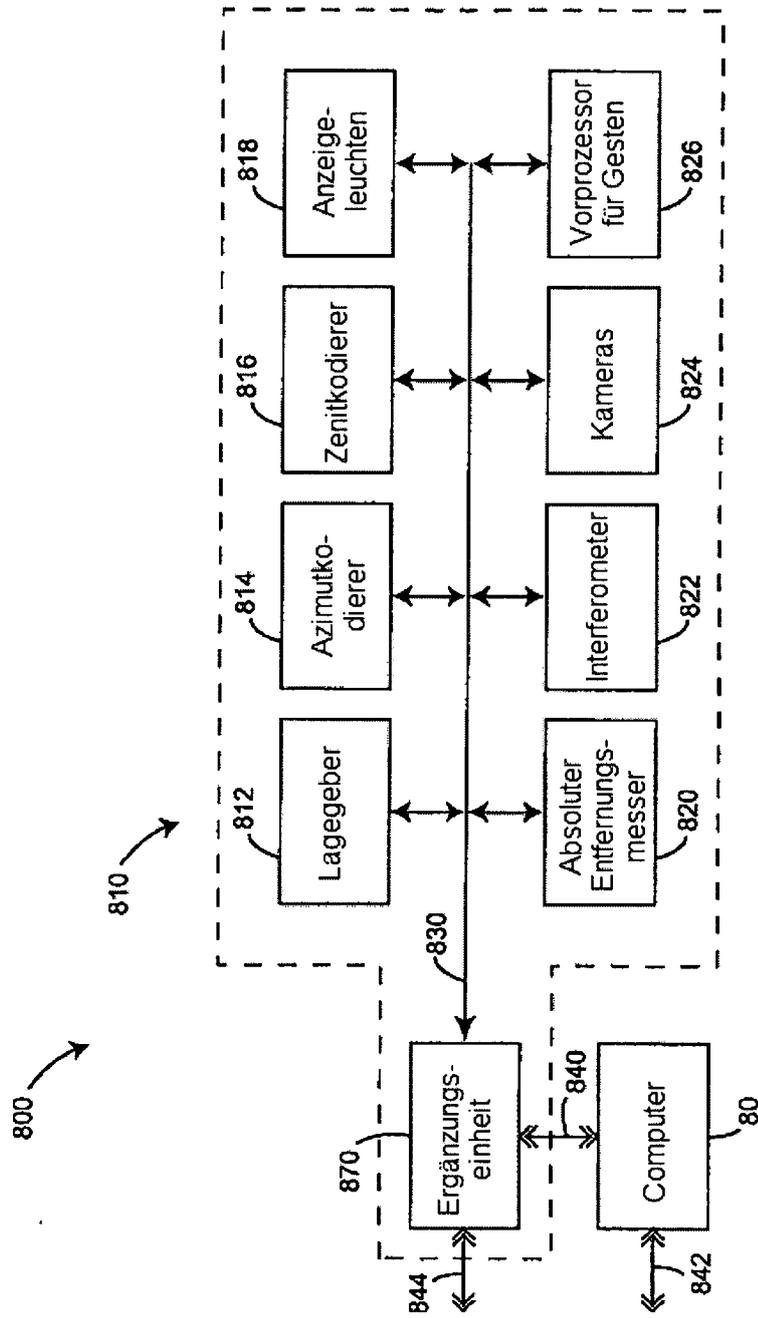
FIGUR 14



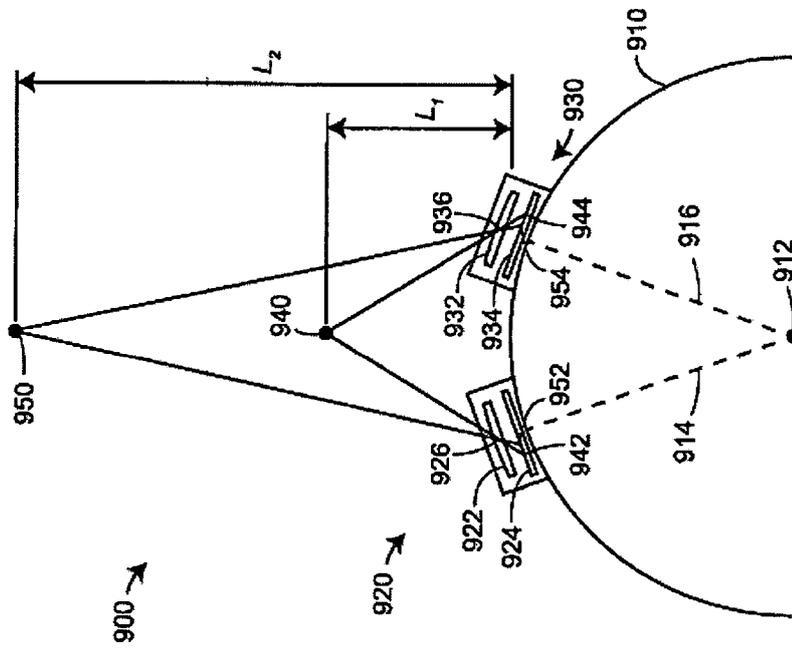
FIGUR 15



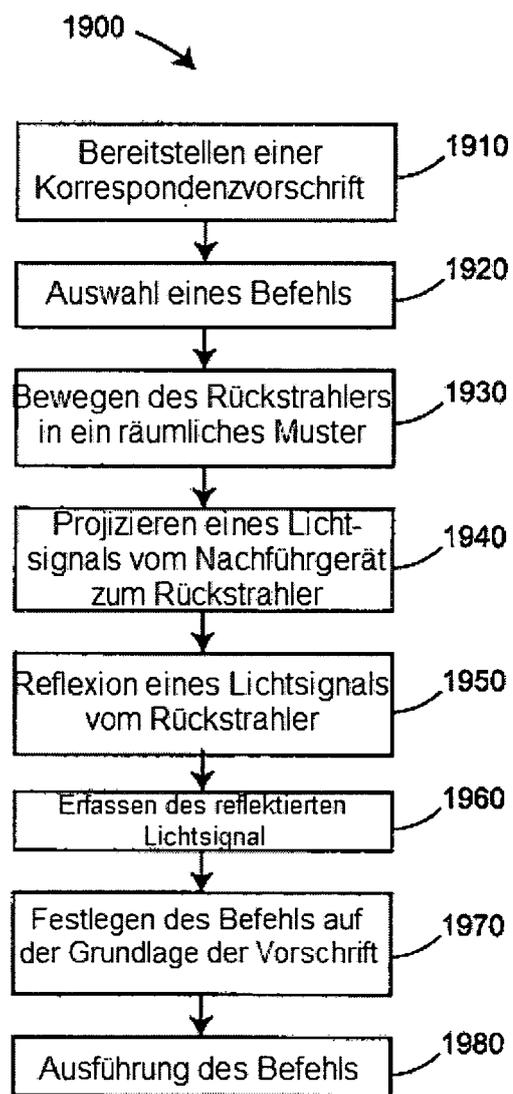
FIGUR 16



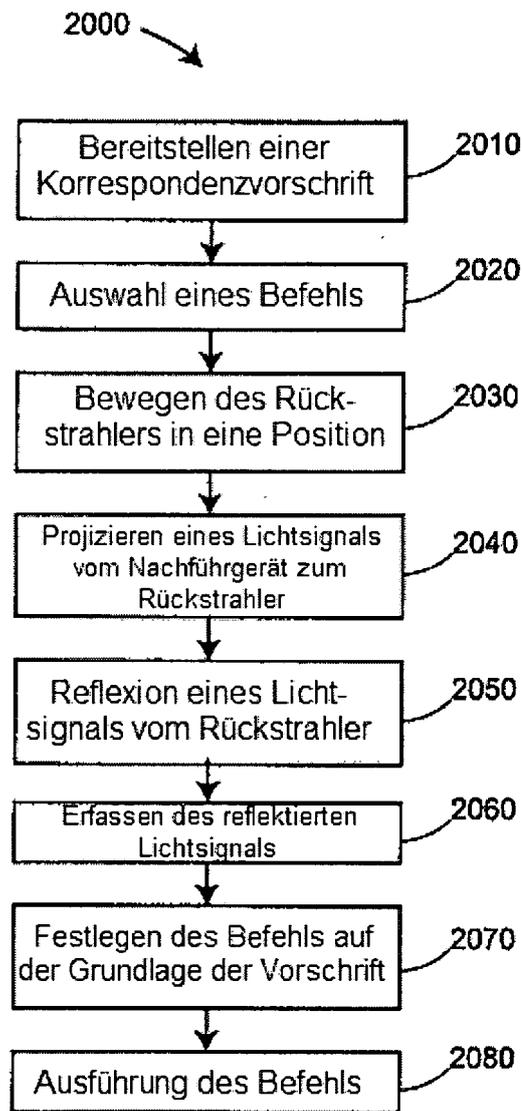
FIGUR 17



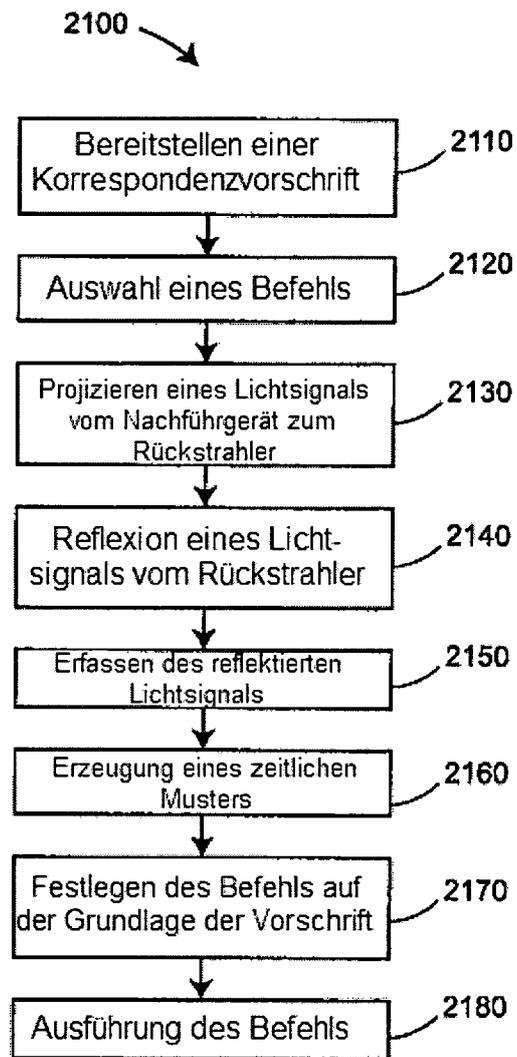
FIGUR 18



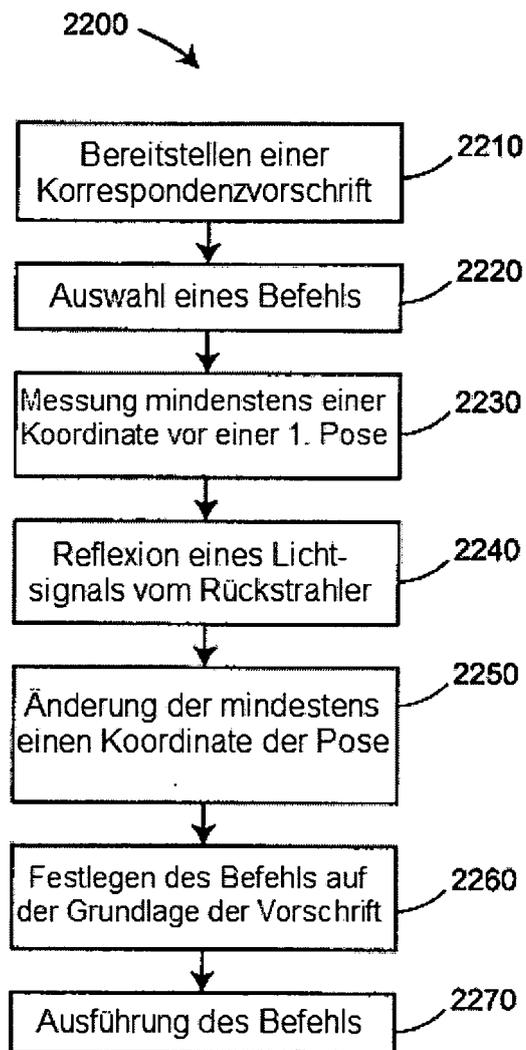
FIGUR 19



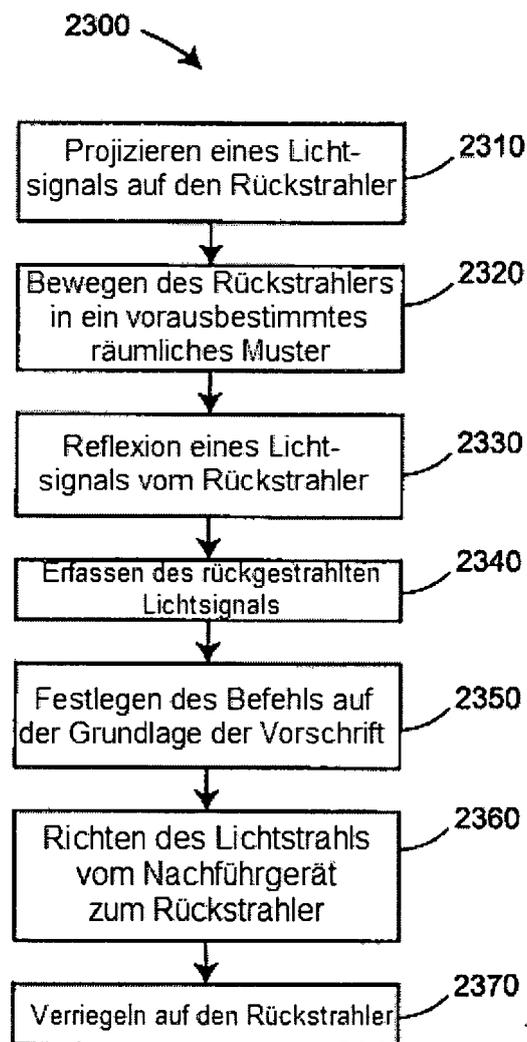
FIGUR 20



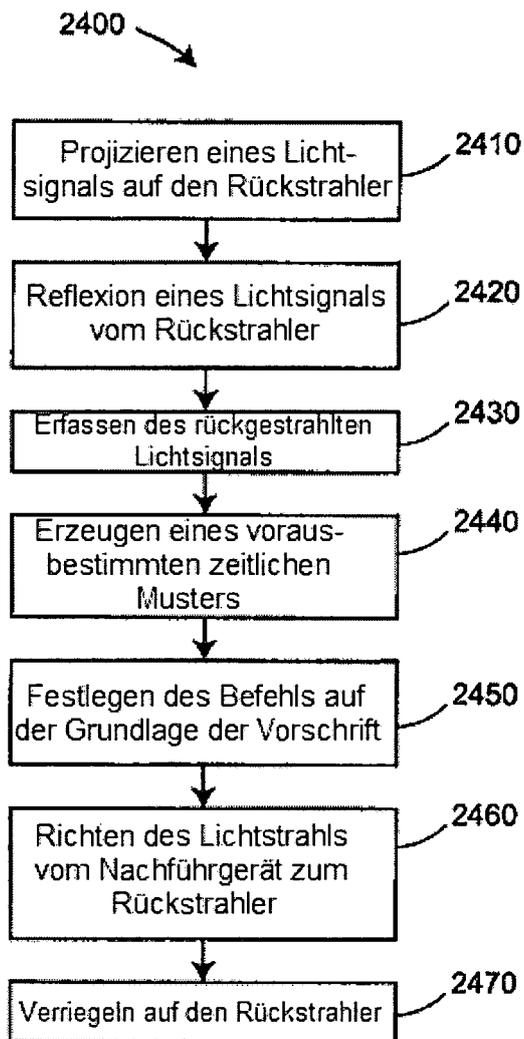
FIGUR 21



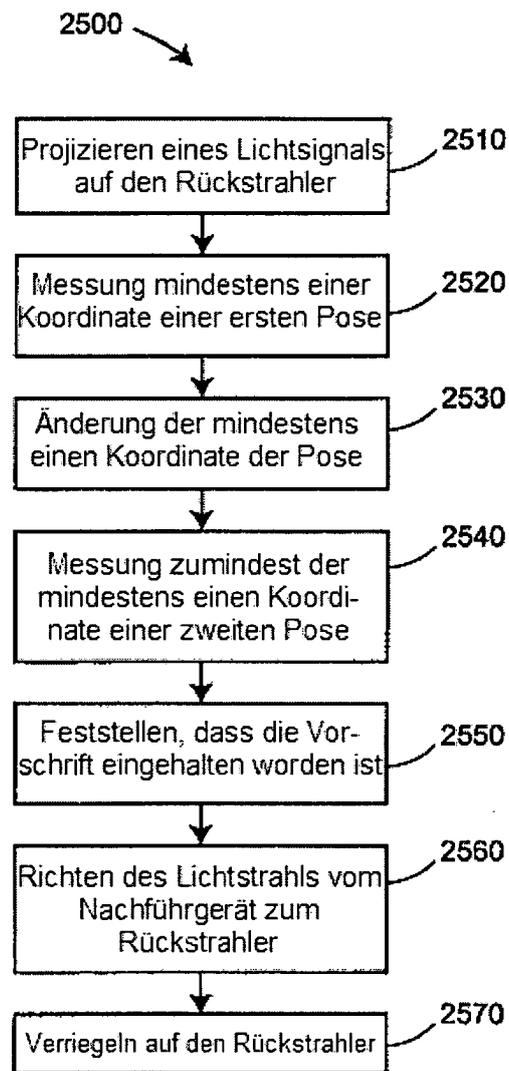
FIGUR 22



FIGUR 23



FIGUR 24



FIGUR 25