



(10) **DE 11 2014 003 278 B4** 2017.02.02

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2014 003 278.6**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2014/046586**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2015/009652**
(86) PCT-Anmeldetag: **15.07.2014**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **22.01.2015**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **14.04.2016**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **02.02.2017**

(51) Int Cl.: **G01B 11/25 (2006.01)**
H04N 5/355 (2011.01)

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:

61/846,363	15.07.2013	US
61/860,353	31.07.2013	US
14/328,846	11.07.2014	US

(73) Patentinhaber:

FARO TECHNOLOGIES INC., Lake Mary, Fla., US

(74) Vertreter:

OFFICE FREYLINGER S.A., Strassen, LU

(72) Erfinder:

**Atwell, Paul C., Lake Mary, Fla., US; MacFarlane,
Keith G., Lake Mary, Fla., US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

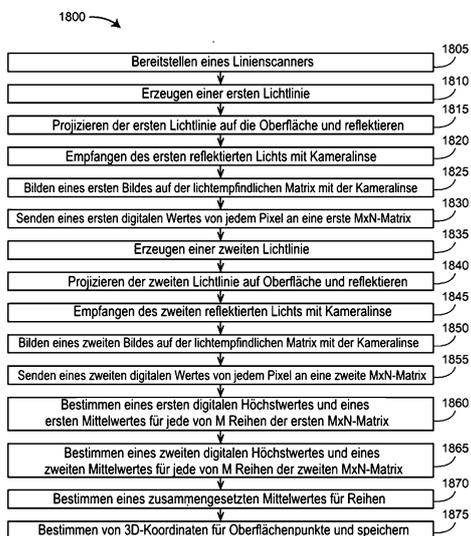
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Laserliniensonde mit verbessertem großen Dynamikbereich**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Messen von dreidimensionalen Koordinaten einer Oberfläche eines Objekts, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:

Bereitstellen eines Linienscanners, der einen Prozessor, einen Projektor und eine Kamera umfasst, wobei der Linienscanner einen ersten Bezugsrahmen aufweist, wobei der Projektor eine Lichtquelle und eine Projektorlinse umfasst, wobei die Lichtquelle dafür ausgelegt ist, eine Lichtlinie im Wesentlichen gerade auszugeben, wenn sie auf eine Ebene senkrecht zu einer Ausbreitungsrichtung der Lichtlinie projiziert wird, wobei der Projektor ein Projektorperspektivitätszentrum umfasst, wobei die Kamera eine lichtempfindliche Matrix und eine Kameralinse umfasst, wobei die Kamera ein Kameraperspektivitätszentrum umfasst, wobei die Kameralinse dafür ausgelegt ist, ein Bild eines Abschnitts der Oberfläche auf der lichtempfindlichen Matrix zu bilden, wobei die lichtempfindliche Matrix eine Matrix von Pixeln umfasst, wobei die Matrix von Pixeln M Reihen und N Spalten aufweist, wobei M und N ganze Zahlen sind, wobei jedes der Pixel in der Matrix von Pixeln dafür ausgelegt ist, eine von jedem der Pixel erfasste optische Energie entsprechend einem digitalen Wert in einen elektrischen Wert umzuwandeln, wobei der Prozessor dafür ausgelegt ist, die digitalen Werte zu empfangen, wobei der Linienscanner eine Grundlinie aufweist, wobei die Grundlinie ein geradliniges Segment zwischen dem Projektorperspektivitätszentrum und dem Kameraperspektivitätszentrum ist,

wobei der Projektor eine Projektorausrichtung in Bezug auf die Grundlinie hat, wobei die Kamera eine Kameraausrichtung in Bezug auf die Grundlinie hat, wobei der Prozessor dafür ausgelegt ist, die Lichtquelle zu steuern und die digitalen Werte zu empfangen; ...



(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2008 / 0 105 731	A1
US	2011 / 0 170 534	A1
US	5 280 542	A
US	5 402 582	A
US	5 611 147	A
US	5 812 269	A
WO	2013/ 101 620	A1

BeschreibungQUERVERWEIS AUF
VERWANDTE ANMELDUNGEN

[0001] Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der vorläufigen US-Patentanmeldungen Nr. 61/846,363, eingereicht am 15. Juli 2013, und 61/860,353, eingereicht am 31. Juli 2013, wobei der gesamte Inhalt beider Anmeldungen hier bezugnehmend einbezogen ist.

GEBIET DER ERFINDUNG

[0002] Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Laserliniensonde und insbesondere eine Laserliniensonde mit einem verbesserten großen Dynamikbereich in Bezug auf deren Bilderfassungskapazität.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0003] Die dreidimensionalen („3D“) physikalischen Eigenschaften von Oberflächen von Objekten können unter Verwendung verschiedener berührungsloser Techniken und Vorrichtungen gemessen werden. Solche Messungen können aus verschiedenen Gründen ausgeführt werden, einschließlich der Teileinspektion, der schnellen Prototypenentwicklung, des Vergleichs des tatsächlichen Teils mit einem CAD-Modell des Teils, Reverse Engineering, 3D-Modellierung usw. In den meisten Fällen nutzen diese berührungslosen Vorrichtungen auf Dreiecksvermessung basierende Techniken zur Verarbeitung der unverarbeiteten erfassten Daten, die die Oberfläche eines Objekts darstellen, zu den resultierenden tatsächlichen Messungen der Objektoberfläche.

[0004] Eine Art der auf Dreiecksvermessung basierenden berührungslosen Vorrichtung ist eine Laserliniensonde („LLP“), welche einen Projektor und eine Kamera umfasst. Der Projektor umfasst eine Lichtquelle, die ein Licht typischerweise als eine Linie ausgibt. Der Projektor umfasst auch eine Linse, die das ausgegebene Licht auf ein Objekt in einem relativ klaren (nicht verschwommenen) Zustand projiziert. Das ausgegebene Licht kann ein Laserlicht, ein teilweise kohärentes Licht oder ein inkohärentes Licht sein. Die Kamera umfasst eine kameraartige Bildgebungsvorrichtung, wie eine ladungsgekoppelte Vorrichtung („charge-coupled device“, CCD) oder eine lichtempfindliche CMOS-Matrix. Die Kamera umfasst auch eine Kameralinse, die das Lichtmuster auf der Objektoberfläche erfasst und dieses in einen relativ klaren (nicht verschwommenen) Zustand auf der lichtempfindlichen Matrix umwandelt. Die Kamera wird typischerweise neben der Laserlichtquelle innerhalb der LLP-Vorrichtung positioniert. Der Projektor besitzt einen virtuellen Ausgabepunkt, von welchem die Lichtlinie oder der Lichtstreifen in einem Winkel in einer Dimension und in einer flachen La-

ge in der orthogonalen Dimension „aufgefächert“ zu werden scheint. Die Kamera besitzt ein Kameraperspektivitätszentrum, welches Lichtstrahlen von dem Muster auf dem Objekt auf ihrem Weg zur lichtempfindlichen Matrix zu passieren scheinen. Das Liniensegment zwischen dem virtuellen Ausgabepunkt und dem Kameraperspektivitätszentrum wird als Grundlinie bezeichnet, und die Länge der Grundlinie wird als Grundlinienlänge bezeichnet.

[0005] In manchen Fällen ist die LLP als eine von Hand gehaltene Vorrichtung ausgebildet. In anderen Fällen kann sie an einer motorbetriebenen Vorrichtung angebracht oder in einer Fertigungsstraße an einer Position befestigt sein. Der Lichtfächer, der auf die Oberfläche des Objekts trifft, bildet einen relativ breiten Lichtstreifen auf der Objektoberfläche. Die Kamera erfasst die 3D-Silhouette oder das Profil des auf das Objekt projizierten Laserstreifens. Bei einer von Hand gehaltenen LLP wird, um das gesamte Objekt oder einen Teil davon mit der Lichtlinie abzudecken, die LLP vom Benutzer derart bewegt, dass sich der projizierte Liniestreifen über das gesamte Objekt oder zumindest den gewünschten Teil des Objekts innerhalb des Gesichtsfelds der LLP erstreckt. Dadurch werden durch Bewegen der LLP über das Objekt hunderte von Querschnitten der Objektoberfläche als 3D-Punkt-Clouds von unverarbeiteten Daten erfasst. Einige moderne LLPs können 60 Rahmen oder Streifen von 3D-Daten pro Sekunde, oder etwa 45.000 Datenpunkte pro Sekunde erfassen. Eine Signalverarbeitungselektronik (z. B. ein Computer oder ein Prozessor) ist vorgesehen, welche Software ausführt, die die unverarbeiteten 3D-Punkt-Clouddaten zu dem resultierenden 3D-Bild des Objekts verarbeitet, welches Größenmessungen umfasst, die von der LLP und ihrem Laserstreifen und dem Dreiecksvermessungsprozess erhalten wurden.

[0006] Das Bild der reflektierten Linie auf der Bildgebungsvorrichtung ändert sich normalerweise mit der Änderung des Abstands zwischen der Bildgebungsvorrichtung und der Objektoberfläche. Durch Kenntnis des Grundlinienabstands, der Ausrichtung des Projektors und der Kamera in Bezug auf die Grundlinie sowie der Koordinaten auf der lichtempfindlichen Matrix des abgebildeten Lichtmusters können bekannte Dreiecksvermessungsverfahren verwendet werden, um 3D-Koordinaten von Punkten auf der Oberfläche des Objekts zu messen. Das heißt, während die LLP bewegt wird, sieht die Bildgebungsvorrichtung jeden projizierten Liniestreifen. Jegliche Abweichung auf der lichtempfindlichen Matrix von einem geradlinigen Muster kann in Höhenvariationen auf der Objektoberfläche übersetzt werden, wodurch die Objektoberfläche definiert wird. Mit anderen Worten digitalisiert das hier vorstehend beschriebene Verfahren die Form und Position des Objekts innerhalb des Gesichtsfelds der LLP. Auf diese Weise kann das gemessene Objekt anhand eines CAD-De-

signmodells desselben Objekts geprüft werden, um jegliche Abweichungen zwischen diesen zu bestimmen.

[0007] Tragbare Gelenkarm-Koordinatenmessgeräte („Gelenkarm-KMGs“) können eine Tastsonde umfassen, die dafür ausgelegt ist, mit einem Objekt in Kontakt gebracht zu werden, um 3D-Koordinaten der Objektoberfläche zu bestimmen. Gelenkarm-KMGs haben verbreitet bei der Herstellung oder Produktion von Teilen Anwendung gefunden, bei denen die Abmessungen des Teils während verschiedener Herstellungs- oder Produktionsphasen (z. B. Bearbeitung) des Teils schnell und präzise geprüft werden müssen. Tragbare Gelenkarm-KMGs stellen eine starke Verbesserung gegenüber bekannten ortsfesten oder befestigten, kostspieligen und relativ schwierig zu verwendenden Messeinrichtungen dar, insbesondere in Bezug auf den Zeitaufwand, der für die Durchführung der Größenmessungen von relativ komplexen Teilen erforderlich ist. Typischerweise führt ein Benutzer eines tragbaren Gelenkarm-KMGs einfach eine „harte“ Kontaktberührungs-Messsonde (z. B. eine Kugel) an der Oberfläche des zu messenden Teils oder Objekts entlang. Die Messdaten werden dann aufgezeichnet und dem Benutzer bereitgestellt. In einigen Fällen werden dem Benutzer die Daten in optischer Form bereitgestellt, beispielsweise in 3D-Form auf einem Computerbildschirm. In anderen Fällen werden dem Benutzer die Daten in numerischer Form bereitgestellt, beispielsweise wenn bei der Messung des Durchmessers eines Lochs der Text „Durchmesser = 1,0034“ auf einem Computerbildschirm angezeigt wird.

[0008] Ein Beispiel für ein tragbares Gelenkarm-KMG des Stands der Technik ist in dem US-Patent US 5 402 582 A („das Patent '582“) des gleichen Inhabers offenbart, welches hierin in seiner Gesamtheit einbezogen ist. Das Patent '582 offenbart ein 3D-Messsystem, das aus einem manuell bedienten Gelenkarm-KMG mit einer Tragbasis an einem Ende und einer „harten“ Messsonde am anderen Ende besteht. Das US-Patent US 5 611 147 A („das Patent '147“) des gleichen Inhabers, welches hierin in seiner Gesamtheit einbezogen ist, offenbart ein ähnliches Gelenkarm-KMG. In dem Patent '147 umfasst das Gelenkarm-KMG eine Reihe von Merkmalen einschließlich einer zusätzlichen Drehachse am Sondenende, wodurch für einen Arm eine Achskonfiguration entweder in Form von zwei-zwei-zwei oder zwei-zwei-drei Achsen bereitgestellt wird (wobei Letztere ein Arm mit sieben Achsen ist).

[0009] Es ist eine allgemein bekannte und anerkannte Praxis, eine Laserliniensonde an dem Sondenende eines Gelenkarm-KMGs anzubringen. Dadurch erhält man eine vollständig integrierte tragbare Berührungsmessvorrichtung oder berührungslose Messvorrichtung. Das heißt, das Gelenkarm-KMG,

an dem eine LLP angebracht ist, bietet sowohl Berührungsmessungen eines Objekts durch Verwendung der „harten“ Sonde des Gelenkarm-KMGs als auch berührungslose Messungen des Objekts durch Verwendung des Lasers der LLP und einer Bildgebungsvorrichtung. Insbesondere ermöglicht es die Kombination aus Gelenkarm-KMG und LLP Benutzern, komplexe und organische Formen über Laserabtasten schnell zu inspizieren oder im Zuge des Reverse Engineering zu analysieren sowie prismatische Elemente mit der relativ hohen Genauigkeit zu erfassen, die die Berührungsmesstechnik bietet.

[0010] Wenn sie auf diese Weise kombiniert werden, können das Gelenkarm-KMG und die LLP veranlassen, dass die LLP einen Teil der oder die gesamte Verarbeitung der erfassten 3D-Punkt-Cloud-Daten unter Verwendung der Signalverarbeitungselektronik (z. B. eines Computers oder Prozessors) innerhalb des Gelenkarm-KMGs oder in Zuordnung zu diesem (z. B. getrennt davon angeordnet) ausführt. Die LLP kann jedoch ihre eigene Signalverarbeitungselektronik aufweisen, die sich innerhalb der LLP befindet oder der LLP zugeordnet ist (z. B. ein Einzelplatzrechner), um die erforderliche Signalverarbeitung auszuführen. In diesem Fall kann es nötig sein, die LLP mit einer Anzeigevorrichtung zu verbinden, um die erfassten Daten, die das Objekt darstellen, anzusehen. In diesem Fall kann die LLP auch als eine Einzelplatzvorrichtung arbeiten, ohne dass diese an ein Gelenkarm-KMG oder eine ähnliche Vorrichtung angeschlossen werden muss.

[0011] Ein wichtiges Kennzeichen jeder Laserliniensonde ist der Dynamikbereich der Bildgebungsvorrichtung innerhalb der LLP. Einfach ausgedrückt ist der Dynamikbereich der Bildgebungsvorrichtung der Bereich, der an einem Ende durch die Menge der relativ hellen Objektoberflächenabschnitte begrenzt ist, die die Bildgebungsvorrichtung genau erfassen kann, und der an dem anderen Ende durch die Menge der relativ dunklen Objektoberflächenabschnitte begrenzt ist, die die Bildgebungsvorrichtung genau erfassen kann. Anders ausgedrückt ist der Dynamikbereich einer Bildgebungsvorrichtung das Verhältnis des größten, nicht-sättigenden Eingangssignals zu dem kleinsten nachweisbaren Eingangssignal. Der Dynamikbereich quantifiziert im Wesentlichen die Fähigkeit eines Bildgebungssensors, sowohl die hellsten Stellen als auch die dunklen Schatten eines Objekts oder einer größeren Szene passend abzubilden. Ein typisches Objekt oder eine typische Szene aus der realen Welt, das/die abgebildet werden soll, kann einen weiten Bereich von Helligkeitswerten (oder Kontrastvariationen) über die Objektoberfläche oder -oberflächen haben, der teilweise vom Umgebungslicht, welches das Objekt zu irgendeinem Zeitpunkt beleuchtet, abhängt. Zum Beispiel ist es für ein Objekt oder eine Szene nicht unüblich, dass sich die Helligkeit um 100 Dezibel oder mehr ändert.

[0012] Der für eine LLP erforderliche Dynamikbereich zur optimalen Bestimmung von 3D-Koordinaten einer Oberfläche ist gleich dem Verhältnis der reflektierten Lichtleistung von den am stärksten reflektierenden zu den am wenigsten reflektierenden Abschnitten einer Oberflächenebene. Der Dynamikbereich kann als ein lineares Verhältnis oder üblicher als ein logarithmisches Verhältnis in Einheiten von Dezibel (dB) beschrieben werden. Der erforderliche Dynamikbereich für eine besondere Messung hängt teilweise von dem Material, der Farbe und der Oberflächenbeschaffenheit der Oberflächenebene und teilweise von den Abständen von einem Oberflächenpunkt zum Projektor und zur Kamera und teilweise von den Einfallswinkeln und dem Reflexionsgrad des projizierten bzw. reflektierten Lichts ab.

[0013] Der Dynamikbereich eines Bildsensors ist das Verhältnis der größten optischen Energie zur kleinsten optischen Energie, die von einem Pixel empfangen wird. Um eine gültige Ablesung zur Verfügung zu stellen, sollte der von einem Pixel empfangene Dynamikbereich innerhalb des linearen Bereichs des Pixels liegen, was bedeutet, dass die Energie nicht so groß sein kann, dass sie sättigt, oder nicht so klein sein kann, dass sie störbegrenzt ist. Um mit einem optimalen Pegel zu arbeiten, sollte der Dynamikbereich der Bildgebungsvorrichtung gleich oder größer als der von einer besonderen Messung benötigte Dynamikbereich sein. Die meisten handelsüblichen Vorrichtungen, z. B. CCDs oder CMOS-Bildgeber, haben einen Dynamikbereich von weniger als 100 Dezibel.

[0014] Eine LLP mit einer Bildgebungsvorrichtung mit einem relativ kleinen Dynamikbereich (z. B. eine CCD-Kamera oder eine lichtempfindliche CMOS-Matrix) führt zu einem wiedergegebenen Bild, welches in manchen Bereichen zu dunkel und/oder in anderen Bereichen zu hell (d.h. gesättigt) sein kann. Somit kann es schwierig wenn nicht unmöglich sein, mit einer solchen LLP 3D-Koordinaten genau zu bestimmen.

[0015] Infolgedessen gibt es im Stand der Technik viele Vorrichtungen und Techniken zum Erweitern oder Erhöhen des Dynamikbereichs von Bildgebungsvorrichtungen. Diesen Techniken und Vorrichtungen fehlt es jedoch tendenziell etwas am Ausmaß der Erhöhung des Dynamikbereichs der Bildgebungsvorrichtung.

[0016] Während bestehende Laserliniensonden für ihren beabsichtigten Zweck geeignet sind, benötigt man eine Laserliniensonde mit einer Bildgebungsvorrichtung mit einem verbesserten (d. h. vergrößerten) großen Dynamikbereich.

[0017] Die US 2008/105731 A1 offenbart ein Messverfahren für die Schnittform einer Schweißnaht ei-

nes elektrisch geschweißten Rohres. Dabei wird eine Bildverarbeitung eines optischen Schnittbildes durchgeführt, das durch Aufnahme eines Bildes von Schlitzlicht erhalten wurde, das auf eine Schweißnaht gestrahlt wurde, wobei das Bild aus einem Winkel aufgenommen wird, der sich von der Abstrahlrichtung des Schlitzlichts unterscheidet. Ein Bild wird angezeigt, das auf der Überlagerung des genannten optischen Schnittbildes sowie eines optischen Schnittbildes, das durch Ausdünnungsbearbeitung des genannten optischen Schnittbildes durch vorgesehene Verarbeitungsmittel gewonnen wird, beruht.

[0018] Die US 2011/170534 A1 offenbart eine Anordnung mit wenigstens zwei miteinander kommunizierenden Vorrichtungen, die jeweils eine Schnittstelle gemäß dem IEEE-1588-Präzisionszeitprotokoll aufweisen, welche eine oder mehrere Komponenten umfasst, die sowohl zur drahtgebundenen als auch zur drahtlosen Kommunikation mit der jeweils anderen Vorrichtung eingerichtet sind. Dabei umfasst eine der Vorrichtungen eine Master-Uhr und die andere Vorrichtung eine Slave-Uhr. Die Master-Uhr übermittelt eine Zeit an die Slave-Uhr, woraufhin die Slave-Uhr, soweit nötig, ihre Zeit an die Master-Uhr anpasst.

[0019] Die US 5 280 542 A beschreibt ein Verfahren zum Messen der dreidimensionalen Koordinaten eines Objekts, wobei gepulstes Schlitzlicht auf das Objekt projiziert wird, die auf der Oberfläche des Objekts gebildete Schlitzlinie mit einer TV-Kamera aufgenommen wird, und das Videosignal der Kamera entsprechend einem Abtastsignal der Kamera verarbeitet wird. Die Position der Schlitzlinie auf der Kamera wird basierend auf dem gewichteten Mittel der Intensitätswerte des Videosignals detektiert. Das Verhältnis der Position der Schlitzlinie zu den tatsächlichen Koordinaten auf dem Objekt wurde vorab bestimmt, wobei die Verzerrung der Linse der TV-Kamera berücksichtigt wurde, und in einer Nachschlagetabelle abgespeichert. Daten, die aus dieser Tabelle ausgelesen werden, werden synchronisiert mit der Projektion jedes gepulsten Schlitzlichts in einem Speicher abgelegt.

[0020] Die WO 2013/101260 A1 offenbart ein Bohrer-Ansatzstück mit einem Körper, der ein gewindetragendes oberes Ende zur Verbindung mit einem Bohrgestänge und ein gewindetragendes unteres Ende zur Verbindung mit einer Erdbohrkrone aufweist. Eine axiale Öffnung in dem Körper transportiert Bohrflüssigkeit zu einer Auslassöffnung in der Erdbohrkrone. Umlenkdüsen innerhalb des Körpers stehen in Verbindung mit der axialen Öffnung. Jede Düse dient zum Umlenken und Abgeben eines Teils der Bohrflüssigkeit.

[0021] Aus der US 5 812 269 A ist ein auf Triangulation basierendes 3D-Verarbeitungsverfahren zum

Erzeugen von Graustufenwerten und transformierten Höhenwerten bekannt, das die folgenden Schritte umfasst: Erzeugen eines ersten Paares von Datenwerten, die von Höhendaten und Intensitätsdaten repräsentiert werden, die aus einer ersten Richtung in Bezug auf ein Objekt erhalten wurden; Erzeugen eines zweiten Paares von Datenwerten, die von Höhendaten und Intensitätsdaten repräsentiert werden, die aus einer zweiten Richtung in Bezug auf das Objekt erhalten wurden; steuerbares und automatisches Auswählen von wenigstens einem Steueralgorithmus, dessen Zweck es ist, die Höhen- und Intensitätsdaten zu verarbeiten; und Verarbeiten der Höhendaten aus der ersten und der zweiten Richtung und der Intensitätsdaten aus der ersten und der zweiten Richtung mit dem wenigstens einen Steueralgorithmus, um transformierte Höhendaten zu erhalten.

KURZFASSUNG DER ERFINDUNG

[0022] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Messen von dreidimensionalen Koordinaten einer Oberfläche eines Objekts gegeben, wobei das Verfahren das Bereitstellen eines Linienscanners umfasst, der einen Prozessor, einen Projektor und eine Kamera umfasst, wobei der Linienscanner einen ersten Bezugsrahmen umfasst, wobei der Projektor eine Lichtquelle und eine Projektorlinse umfasst, wobei die Lichtquelle dafür ausgelegt ist, eine Lichtlinie im Wesentlichen gerade auszugeben, wenn sie auf eine Ebene senkrecht zu einer Ausbreitungsrichtung der Lichtlinie projiziert wird, wobei der Projektor ein Projektorspektivitätszentrum umfasst, wobei die Kamera eine lichtempfindliche Matrix und eine Kameralinse umfasst, wobei die Kamera ein Kameraperspektivitätszentrum umfasst, wobei die Kameralinse dafür ausgelegt ist, ein Bild eines Abschnitts der Oberfläche auf der lichtempfindlichen Matrix zu bilden, wobei die lichtempfindliche Matrix eine Matrix von Pixeln umfasst, wobei die Matrix von Pixeln M Reihen und N Spalten aufweist, wobei M und N ganze Zahlen sind, wobei jedes der Pixel in der Matrix von Pixeln dafür ausgelegt ist, eine von jedem der Pixel erfasste optische Energie in einen elektrischen Wert entsprechend einem digitalen Wert umzuwandeln, wobei der Prozessor dafür ausgelegt ist, die digitalen Werte zu empfangen, wobei der Linienscanner eine Grundlinie aufweist, wobei die Grundlinie ein geradliniges Segment zwischen dem Projektorspektivitätszentrum und dem Kameraperspektivitätszentrum ist, wobei der Projektor eine Projektorausrichtung in Bezug auf die Grundlinie hat, wobei die Kamera eine Kameraausrichtung in Bezug auf die Grundlinie hat, wobei der Prozessor dafür ausgelegt ist, die Lichtquelle zu steuern und die digitalen Werte zu empfangen; Erzeugen einer ersten Lichtlinie zu einem ersten Zeitpunkt, wobei die erste Lichtlinie eine erste Lichtleistung hat; Projizieren der ersten Lichtlinie auf die Oberfläche; Reflektieren der ersten Lichtlinie als ein erstes reflektiertes Licht

von der Oberfläche; Empfangen des ersten reflektierten Lichts mit der Kameralinse; Bilden eines ersten Bildes des ersten reflektierten Lichts auf der lichtempfindlichen Matrix über eine erste Integrationszeit mit der Kameralinse und, in Reaktion darauf, Erzeugen einer ersten optischen Energie für jedes der Pixel, wobei die erste optische Energie für jedes der Pixel zumindest teilweise von einer ersten integrierten Energie abhängt, wobei die erste integrierte Energie gleich einem Integral der ersten Lichtleistung über die erste Integrationszeit ist; Senden eines ersten digitalen Wertes an den Prozessor für jedes der Pixel, um eine erste $M \times N$ -Matrix von ersten digitalen Werten zu erhalten; Erzeugen einer zweiten Lichtlinie zu einem zweiten Zeitpunkt, wobei die zweite Lichtlinie eine zweite Lichtleistung hat, wobei sich die zweite Lichtleistung von der ersten Lichtleistung unterscheidet; Projizieren der zweiten Lichtlinie auf die Oberfläche; Reflektieren der zweiten Lichtlinie als ein zweites reflektiertes Licht von der Oberfläche; Empfangen des zweiten reflektierten Lichts mit der Kameralinse; Bilden eines zweiten Bildes des zweiten reflektierten Lichts auf der lichtempfindlichen Matrix über eine zweite Integrationszeit mit der Kameralinse und, in Reaktion darauf, Erzeugen einer zweiten optischen Energie für jedes der Pixel, wobei die zweite optische Energie für jedes der Pixel zumindest teilweise von einer zweiten integrierten Energie abhängt, wobei die zweite integrierte Energie gleich einem Integral der zweiten Lichtleistung über die zweite Integrationszeit ist; wobei sich die zweite integrierte Energie von der ersten integrierten Energie unterscheidet, Senden eines zweiten digitalen Wertes an den Prozessor für jedes der Pixel, um eine zweite $M \times N$ -Matrix von zweiten digitalen Werten zu erhalten; Bestimmen eines ersten digitalen Höchstwertes und eines ersten Mittelwertes für jede der M Reihen der ersten $M \times N$ -Matrix mit dem Prozessor, wobei der erste digitale Höchstwert für die Reihe gleich einem Maximum der N ersten digitalen Werte der Reihe ist, wobei der erste Mittelwert zumindest teilweise auf wenigstens einem der N ersten digitalen Werte der Reihe basiert; Bestimmen eines zweiten digitalen Höchstwertes und eines zweiten Mittelwertes für jede der M Reihen der zweiten $M \times N$ -Matrix mit dem Prozessor, wobei der zweite digitale Höchstwert für die Reihe gleich einem Maximum der N zweiten digitalen Werte der Reihe ist, wobei der zweite Mittelwert zumindest teilweise auf wenigstens einem der N zweiten digitalen Werte der Reihe basiert; Bestimmen eines zusammengesetzten Mittelwertes für jede der M Reihen, in der eine erste Bedingung oder eine zweite Bedingung erfüllt ist, mit dem Prozessor, wobei die erste Bedingung darin besteht, dass der erste digitale Höchstwert kleiner als ein Sättigungspegel ist und einen Störpegel übersteigt, wobei die zweite Bedingung darin besteht, dass der zweite digitale Höchstwert kleiner als der Sättigungspegel ist und den Störpegel übersteigt, wobei der zusammengesetzte Mittelwert zumindest teilweise auf dem ersten Mittelwert und dem zweiten

Mittelwert basiert; Berechnen von dreidimensionalen Koordinaten eines Punktes auf der Oberfläche für jede der M Reihen mit einem zusammengesetzten Mittelwert mit dem Prozessor, wobei die dreidimensionalen Koordinaten in dem ersten Bezugsrahmen berechnet werden, wobei die dreidimensionalen Koordinaten zumindest teilweise auf dem zusammengesetzten Mittelwert, einer Länge der Grundlinie, der Projektorausrichtung und der Kameraausrichtung basieren; und Speichern der dreidimensionalen Koordinaten für jede der M Reihen mit einem zusammengesetzten Mittelwert.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0023] Nun Bezug nehmend auf die Zeichnungen sind beispielhafte Ausführungsformen gezeigt, welche nicht als den gesamten Schutzbereich der Offenbarung einschränkend aufzufassen sind, wobei die Elemente in mehreren Figuren gleich nummeriert sind:

[0024] Fig. 1, einschließlich Fig. 1A und Fig. 1B, sind perspektivische Ansichten eines tragbaren Gelenkarm-Koordinatenmessgeräts (Gelenkarm-KMG), das Ausführungsformen verschiedener Aspekte der vorliegenden Erfindung enthält;

[0025] Fig. 2, einschließlich Fig. 2A bis Fig. 2D zusammengefasst, ist ein Blockschaltbild der Elektronik, die als Teil des Gelenkarm-KMGs von Fig. 1 gemäß einer Ausführungsform verwendet wird;

[0026] Fig. 3, einschließlich Fig. 3A und Fig. 3B zusammengefasst, ist ein Blockschaltbild, das detaillierte Merkmale des elektronischen Datenverarbeitungssystems von Fig. 2 gemäß einer Ausführungsform beschreibt;

[0027] Fig. 4 ist eine isometrische Ansicht des Sondenendes des Gelenkarm-KMGs aus Fig. 1;

[0028] Fig. 5 ist eine Seitenansicht des Sondenendes aus Fig. 4, wobei der Griff an dieses gekoppelt ist;

[0029] Fig. 6 ist eine Seitenansicht des Sondenendes aus Fig. 4, wobei der Griff angebracht ist;

[0030] Fig. 7 ist eine vergrößerte teilweise Seitenansicht des Schnittstellenabschnitts des Sondenendes aus Fig. 6;

[0031] Fig. 8 ist eine weitere vergrößerte teilweise Seitenansicht des Schnittstellenabschnitts des Sondenendes aus Fig. 5;

[0032] Fig. 9 ist eine isometrische Ansicht des Griffs aus Fig. 4, teilweise im Schnitt;

[0033] Fig. 10 ist eine isometrische Ansicht des Sondenendes des Gelenkarm-KMGs aus Fig. 1 mit einer Laserliniensonde, an der eine einzelne Kamera angebracht ist;

[0034] Fig. 51 ist eine isometrische Ansicht der Laserliniensonde aus Fig. 10, teilweise im Schnitt;

[0035] Fig. 12 ist eine isometrische Ansicht des Sondenendes des Gelenkarm-KMGs aus Fig. 1 mit einer weiteren Laserliniensonde mit zwei angebrachten Kameras;

[0036] Fig. 13 ist eine schematische Ansicht von Elementen einer Laserliniensonde (LLP);

[0037] Fig. 14A ist eine schematische Darstellung eines Geräts zum Projizieren einer Lichtlinie unter Verwendung einer Lichtquelle und einer Linse, und Fig. B ist eine schematische Darstellung eines Geräts zum Projizieren einer Lichtlinie unter Verwendung einer Lichtquelle, einer Vorrichtung mit einem mikroelektromechanischen System (MEMS) und einer Linse;

[0038] Fig. 15A bis D veranschaulichen Muster von reflektiertem Licht, beobachtet auf einer lichtempfindlichen Matrix gemäß einer Ausführungsform;

[0039] Fig. 16 veranschaulicht ein Verfahren zum Bestimmen eines Mittelwertes für eine Reihe einer lichtempfindlichen Matrix gemäß einer Ausführungsform;

[0040] Fig. 17A und D veranschaulichen eine Datenmatrix, die für ein erstes Bild bzw. ein zweites Bild erhalten wurde, und Fig. 17C veranschaulicht eine Datenmatrix, die zusammengesetzte Mittelwerte umfasst;

[0041] Fig. 18 beschreibt ein Verfahren zum Erhalten von dreidimensionalen Koordinaten einer Oberfläche gemäß einer Ausführungsform gemäß einer Ausführungsform;

[0042] Fig. 19 ist eine Perspektivansicht eines sechs-FG-Lasertrackers, der verwendet wird, um einen Linienscanner 1930 gemäß einer Ausführungsform zu positionieren; und

[0043] Fig. 20 ist eine Perspektivansicht einer Kamerastange, die verwendet wird, um einen Linienscanner gemäß einer Ausführungsform zu positionieren.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0044] Die Fig. 1A und Fig. 1B veranschaulichen perspektivisch ein Gelenkarm-Koordinatenmessgerät („Gelenkarm-KMG“) 100 nach verschiedenen

Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, wobei ein Gelenkarm eine Art von Koordinatenmessgerät ist. Wie in den **Fig. 1A** und **Fig. 1B** gezeigt ist, kann das beispielhafte Gelenkarm-KMG **100** ein Gelenkmessgerät mit sechs oder sieben Achsen mit einem Sondenende **401** umfassen, das an einem Ende ein an einen Armabschnitt **104** des Gelenkarm-KMGs **100** gekoppeltes Messsondengehäuse **102** umfasst. Der Armabschnitt **104** umfasst ein erstes Armsegment **106**, das durch eine erste Gruppierung von Lagereinsätzen **110** (z.B. zwei Lagereinsätzen) an ein zweites Armsegment **108** gekoppelt ist. Eine zweite Gruppierung von Lagereinsätzen **112** (z.B. zwei Lagereinsätze) koppelt das zweite Armsegment **108** an das Messsondengehäuse **102**. Eine dritte Gruppierung von Lagereinsätzen **114** (z.B. drei Lagereinsätze) koppelt das erste Armsegment **106** an eine Basis **116**, die am anderen Ende des Armabschnitts **104** des Gelenkarm-KMGs **100** angeordnet ist. Jede Gruppierung von Lagereinsätzen **110**, **112**, **114** stellt mehrere Achsen der Gelenkbewegung bereit. Außerdem kann das Sondenende **401** ein Messsondengehäuse **102** umfassen, das die Welle des siebten Achsenabschnitts des Gelenkarm-KMGs **100** aufweist (z.B. einen Einsatz, der ein Codierersystem enthält, das eine Bewegung des Messgeräts, beispielsweise einer Sonde **118**, in der siebten Achse des Gelenkarm-KMGs **100** bestimmt). Bei dieser Ausführungsform kann sich das Sondenende **401** um eine Achse drehen, die sich durch die Mitte des Messsondengehäuses **102** erstreckt. Die Basis **116** ist im Gebrauch des Gelenkarm-KMGs **100** normalerweise an einer Arbeitsfläche befestigt.

[0045] Jeder Lagereinsatz in jeder Lagereinsatzgruppierung **110**, **112**, **114** enthält normalerweise ein Codierersystem (z.B. ein optisches Winkelcodierersystem). Das Codierersystem (d.h. ein Messumformer) stellt eine Angabe der Position der jeweiligen Armsegmente **106**, **108** und der entsprechenden Lagereinsatzgruppierungen **110**, **112**, **114** bereit, die alle zusammen eine Angabe der Position der Sonde **118** in Bezug auf die Basis **116** (und somit die Position des durch das Gelenkarm-KMG **100** gemessenen Objekts in einem bestimmten Bezugsrahmen – beispielsweise einem lokalen oder globalen Bezugsrahmen) bereitstellen. Die Armsegmente **106**, **108** können aus einem in geeigneter Weise starren Material bestehen, wie beispielsweise unter anderem einem Kohlefaserverbundmaterial. Ein tragbares Gelenkarm-KMG **100** mit sechs oder sieben Achsen der Gelenkbewegung (d. h. Freiheitsgraden) bietet Vorteile dahingehend, dass dem Bediener gestattet wird, die Sonde **118** an einer gewünschten Stelle innerhalb eines 360°-Bereichs um die Basis **116** zu positionieren, wobei ein Armabschnitt **104** bereitgestellt wird, der vom Bediener leicht gehandhabt werden kann. Es versteht sich jedoch, dass die Darstellung eines Armabschnitts **104** mit zwei Armsegmenten **106**, **108** als Beispiel dient und dass die beanspruchte Erfindung

nicht dadurch eingeschränkt sein sollte. Ein Gelenkarm-KMG **100** kann eine beliebige Anzahl von Armsegmenten aufweisen, die durch Lagereinsätze aneinandergesetzt sind (und somit mehr oder weniger als sechs oder sieben Achsen der Gelenkbewegung oder Freiheitsgrade aufweisen).

[0046] Die Sonde **118** ist am Messsondengehäuse **102** lösbar angebracht, welches mit der Lagereinsatzgruppierung **112** verbunden ist. Ein Griff **126** ist in Bezug auf das Messsondengehäuse **102** beispielsweise mittels eines Schnellverbinderanschlusses abnehmbar. Wie nachstehend genauer anhand der **Fig. 10** und folgenden beschrieben wird, kann der Griff **126** durch eine andere Vorrichtung ersetzt oder ausgetauscht werden, wie durch eine Laserliniensonde („LLP“), die dafür ausgelegt ist, eine Linie von Laserlicht auf ein Objekt auszugeben und das Laserlicht auf einer Oberfläche des Objekts mit einer Bildgebungsvorrichtung (z. B. einer Kamera) zu erfassen oder abzubilden, die Teil der LLP ist, um dadurch eine berührungslose Messung der Dimensionen von dreidimensionalen Objekten bereitzustellen. Dieses austauschbare Merkmal und die Verwendung einer LLP haben den Vorteil, dass sie es dem Bediener ermöglichen, mit demselben Gelenkarm-KMG **100** sowohl Berührungsmessungen als auch berührungslose Messungen auszuführen. Es sollte jedoch selbstverständlich sein, dass die LLP eine eigenständige Vorrichtung sein kann, wie unten genauer beschrieben wird. Das heißt, die LLP kann selbst, ohne irgendeine Art der Verbindung mit dem Gelenkarm-KMG **100** oder einer ähnlichen Vorrichtung, vollständig funktionell und betriebsbereit sein.

[0047] Das Sondengehäuse **102** beherbergt bei beispielhaften Ausführungsformen eine abnehmbare Sonde **118**, die ein Berührungsmessgerät ist und verschiedene Spitzen **118** aufweisen kann, die das zu messende Objekt physisch berühren, einschließlich folgender, ohne darauf beschränkt zu sein: Sonden vom Kugeltyp, berührungsempfindliche, gebogene und verlängerte Sonden. Bei anderen Ausführungsformen wird die Messung beispielsweise durch eine berührungslose Vorrichtung wie z.B. die LLP durchgeführt. Der Griff **126** ist bei einer Ausführungsform durch die LLP ersetzt, wobei der Schnellverbinder verwendet wird. Andere Typen von Messvorrichtungen können den abnehmbaren Griff **126** ersetzen, um eine zusätzliche Funktionalität bereitzustellen. Beispiele für solche Messvorrichtungen umfassen, ohne darauf beschränkt zu sein, zum Beispiel eine oder mehrere Beleuchtungslampen, einen Temperatursensor, einen Thermoscanner, einen Strichcodescanner, einen Projektor, eine Lackierpistole, eine Kamera oder dergleichen.

[0048] Wie in den **Fig. 1A** und **Fig. 1B** gezeigt ist, umfasst das Gelenkarm-KMG **100** den abnehmbaren Griff **126**, der die Vorteile bereitstellt, dass Ausrüs-

tungsteile oder Funktionalitäten ausgetauscht werden können, ohne dass das Messsondengehäuse **102** von der Lagereinsatzgruppierung **112** entfernt werden muss. Wie unter Bezugnahme auf **Fig. 2D** nachstehend ausführlicher besprochen wird, kann der abnehmbare Griff **126** auch einen elektrischen Anschluss umfassen, der es gestattet, dass elektrische Energie und Daten mit dem Griff **126** und der im Sondenende **401** angeordneten entsprechenden Elektronik ausgetauscht werden.

[0049] Bei verschiedenen Ausführungsformen ermöglicht jede Gruppierung von Lagereinsätzen **110**, **112**, **114**, dass sich der Armabschnitt **104** des Gelenkarm-KMGs **100** um mehrere Drehachsen bewegt. Wie bereits erwähnt, umfasst jede Lagereinsatzgruppierung **110**, **112**, **114** entsprechende Codierersysteme, wie beispielsweise optische Winkelcodierer, die jeweils koaxial mit der entsprechenden Drehachse z.B. der Armsegmente **106**, **108** angeordnet sind. Das optische Codierersystem erfasst eine Drehbewegung (Schwenkbewegung) oder Querbewegung (Gelenkbewegung) beispielsweise von jedem der Armsegmente **106**, **108** um die entsprechende Achse und überträgt ein Signal an ein elektronisches Datenverarbeitungssystem in dem Gelenkarm-KMG **100**, wie hier im Folgenden noch ausführlicher beschrieben wird. Jede einzelne unverarbeitete Codiererzählung wird separat als Signal an das elektronische Datenverarbeitungssystem gesendet, wo sie zu Messdaten weiterverarbeitet wird. Es ist kein von dem Gelenkarm-KMG **100** selbst getrennter Positionsberechner (z.B. eine serielle Box) erforderlich, wie er in dem US-Patent Nr. 5,402,582 ('582) des gleichen Inhabers offenbart wird.

[0050] Die Basis **116** kann eine Befestigungs- bzw. Montagevorrichtung **120** umfassen. Die Montagevorrichtung **120** ermöglicht die abnehmbare Montage des Gelenkarm-KMGs **100** an einer gewünschten Stelle, wie beispielsweise einem Inspektionstisch, einem Bearbeitungszentrum, einer Wand oder dem Boden. Die Basis **116** umfasst bei einer Ausführungsform einen Griffabschnitt **122**, der eine zweckmäßige Stelle bietet, an welcher der Bediener die Basis **116** halten kann, während das Gelenkarm-KMG **100** bewegt wird. Bei einer Ausführungsform umfasst die Basis **116** ferner einen beweglichen Abdeckungsabschnitt **124**, der herunterklappbar ist, um eine Benutzerschnittstelle, wie beispielsweise einen Bildschirm, freizugeben.

[0051] Gemäß einer Ausführungsform enthält oder birgt die Basis **116** des tragbaren Gelenkarm-KMGs **100** eine elektronische Schaltung mit einem elektronischen Datenverarbeitungssystem, welches zwei primäre Komponenten umfasst: ein Basisverarbeitungssystem, das die Daten von den verschiedenen Codierersystemen im Gelenkarm-KMG **100** sowie Daten, die andere Armparameter zur Unterstützung der drei-

dimensionalen („3D“) Positionsberechnungen darstellen, verarbeitet; und ein Benutzerschnittstellen-Verarbeitungssystem, das ein integriertes Betriebssystem, einen berührungssensitiven Bildschirm und eine residente Anwendungssoftware umfasst, welche die Implementierung relativ vollständiger messtechnischer Funktionen innerhalb des Gelenkarm-KMGs **100** gestattet, ohne dass dabei eine Verbindung zu einem externen Computer vorhanden sein muss.

[0052] Das elektronische Datenverarbeitungssystem in der Basis **116** kann mit den Codierersystemen, Sensoren und anderer peripherer Hardware, die entfernt von der Basis **116** angeordnet ist (z.B. eine Laserliniensonde, die am abnehmbaren Griff **126** am Gelenkarm-KMG **100** montiert werden kann), kommunizieren. Die Elektronik, die diese peripheren Hardwarevorrichtungen oder -merkmale unterstützt, kann sich in jeder der in dem tragbaren Gelenkarm-KMG **100** angeordneten Lagereinsatzgruppierungen **110**, **112**, **114** befinden.

[0053] **Fig. 2** ist ein Blockschaltbild der Elektronik, die gemäß einer Ausführungsform in einem Gelenkarm-KMG **100** verwendet wird. Die in **Fig. 2A** dargestellte Ausführungsform umfasst ein elektronisches Datenverarbeitungssystem **210**, das eine Basisprozessorkarte **204** zur Implementierung des Basisverarbeitungssystems, eine Benutzerschnittstellenkarte **202**, eine Basisenergiekarte **206** zur Bereitstellung von Energie, ein Bluetooth-Modul **232** und eine Basisneigungskarte **208** umfasst. Die Benutzerschnittstellenkarte **202** umfasst einen Computerprozessor zum Ausführen der Anwendungssoftware, um die Benutzerschnittstelle, den Bildschirm und andere hier beschriebene Funktionen durchzuführen.

[0054] Wie in den **Fig. 2A** und **Fig. 2B** zu sehen ist, steht das elektronische Datenverarbeitungssystem **210** über einen oder mehrere Armbusse **218** mit den vorgenannten mehreren Codierersystemen in Verbindung. Jedes Codierersystem erzeugt bei der in **Fig. 2B** und **Fig. 2C** dargestellten Ausführungsform Codiererdaten und umfasst: eine Codierer-Armbusschnittstelle **214**, einen digitalen Codierer-Signalprozessor (DSP) **216**, eine Codierer-Lesekopf-Schnittstelle **234** und einen Temperatursensor **212**. Andere Vorrichtungen, wie beispielsweise Dehnungssensoren, können an den Armbuss **218** angeschlossen werden.

[0055] In **Fig. 2D** ist auch die Sondenende-Elektronik **230** dargestellt, die mit dem Armbuss **218** in Verbindung steht. Die Sondenende-Elektronik **230** umfasst einen Sondenende-DSP **228**, einen Temperatursensor **212**, einen Griff-/Vorrichtungsschnittstellenbus **240**, der bei einer Ausführungsform über den Schnellverbinderanschluss mit dem Griff **126** oder der Laserliniensonde („LLP“) **242** verbunden ist, und eine Sondenschnittstelle **226**. Der Schnellver-

binderanschluss ermöglicht den Zugang des Griffes **126** zum Datenbus, den Steuerleitungen, dem von der LLP **242** benutzten Energiebus und zu anderen Ausrüstungsteilen. Die Sondenende-Elektronik **230** ist bei einer Ausführungsform in dem Messsondengehäuse **102** am Gelenkarm-KMG **100** angeordnet. Der Griff **126** kann bei einer Ausführungsform von dem Schnellverbinderanschluss entfernt werden, und die Messung kann mit der LLP **242**, die über den Schnittstellenbus **240** mit der Sondenende-Elektronik **230** des Gelenkarm-KMGs **100** in Verbindung steht, durchgeführt werden. Bei einer Ausführungsform sind das elektronische Datenverarbeitungssystem **210** in der Basis **116** des Gelenkarm-KMGs **100**, die Sondenende-Elektronik **230** im Messsondengehäuse **102** des Gelenkarm-KMGs **100** und die Codierersysteme in den Lagereinsatzgruppierungen **110**, **112**, **114** angeordnet. Die Sondenschnittstelle **226** kann durch ein beliebiges geeignetes Kommunikationsprotokoll, das im Handel erhältliche Produkte von Maxim Integrated Products, Inc. umfasst, die als 1-Wire[®]-Kommunikationsprotokoll **236** ausgebildet sind, mit dem Sondenende-DSP **228** verbunden werden.

[0056] Fig. 3 ist ein Blockschaltbild, das detaillierte Merkmale des elektronischen Datenverarbeitungssystems **210** des Gelenkarm-KMGs **100** gemäß einer Ausführungsform beschreibt. Das elektronische Datenverarbeitungssystem **210** ist bei einer Ausführungsform in der Basis **116** des Gelenkarm-KMGs **100** angeordnet und umfasst die Basisprozessorkarte **204**, die Benutzerschnittstellenkarte **202**, eine Basisenergiekarte **206**, ein Bluetooth-Modul **232** und ein Basisneigungsmodul **208**.

[0057] Bei einer in Fig. 3A gezeigten Ausführungsform umfasst die Basisprozessorkarte **204** die verschiedenen, dort dargestellten funktionellen Blöcke. Eine Basisprozessorfunktion **302** wird beispielsweise verwendet, um die Erfassung von Messdaten des Gelenkarm-KMGs **100** zu unterstützen, und empfängt über den Armbus **218** und eine Bussteuermodulfunktion **308** die unverarbeiteten Codiererdaten (z.B. Codierersystemdaten). Die Speicherfunktion **304** speichert Programme und statische Armkonfigurationsdaten. Die Basisprozessorkarte **204** umfasst ferner eine für eine externe Hardwareoption vorgesehene Portfunktion **310**, um mit etwaigen externen Hardwarevorrichtungen oder Ausrüstungsteilen, wie beispielsweise der LLP **242**, zu kommunizieren. Eine Echtzeituhr (RTC; real time clock) und ein Protokoll **306**, eine Batteriesatzschnittstelle (IF; interface) **316** und ein Diagnoseport **318** sind bei einer Ausführungsform der in Fig. 3A abgebildeten Basisprozessorkarte **204** ebenfalls in der Funktionalität enthalten.

[0058] Die Basisprozessorkarte **204** verwaltet auch die gesamte drahtgebundene und drahtlose Datenkommunikation mit externen (Host-Rechner) und in-

ternen (Bildschirmprozessor **202**) Vorrichtungen. Die Basisprozessorkarte **204** ist in der Lage, über eine Ethernet-Funktion **320** mit einem Ethernet-Netz (z.B. unter Verwendung einer Taktsynchronisations-Norm, wie beispielsweise IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 1588), über eine LAN-Funktion **322** mit einem drahtlosen Local Area Network (WLAN; wireless local area network) und über eine Parallel-Seriell-Kommunikations-Funktion (PSK-Funktion) **314** mit dem Bluetooth-Modul **232** zu kommunizieren. Die Basisprozessorkarte **204** umfasst des Weiteren einen Anschluss an eine Universal-Serial-Bus-Vorrichtung (USB) **312**.

[0059] Die Basisprozessorkarte **204** überträgt und erfasst unverarbeitete Messdaten (z.B. Zählungen des Codierersystems, Temperaturmesswerte) für die Verarbeitung zu Messdaten, ohne dass dabei irgendeine Vorverarbeitung erforderlich ist, wie sie beispielsweise bei der seriellen Box des vorgenannten Patents '582 offenbart wird. Der Basisprozessor **204** sendet die verarbeiteten Daten über eine RS 485-Schnittstelle (IF) **326** an den Bildschirmprozessor **328** auf der Benutzerschnittstellenkarte **202**. Bei einer Ausführungsform sendet der Basisprozessor **204** auch die unverarbeiteten Messdaten an einen externen Computer.

[0060] Nun bezugnehmend auf die Benutzerschnittstellenkarte **202** in Fig. 3B, werden die vom Basisprozessor empfangenen Winkel- und Positionsdaten von auf dem Bildschirmprozessor **328** ausgeführten Anwendungen verwendet, um ein autonomes messtechnisches System in dem Gelenkarm-KMG **100** bereitzustellen. Die Anwendungen können auf dem Bildschirmprozessor **328** ausgeführt werden, um beispielsweise unter anderem folgende Funktionen zu unterstützen: Messung von Merkmalen, Anleitungs- und Schulungsgrafiken, Ferndiagnostik, Temperaturkorrekturen, Steuerung verschiedener Betriebseigenschaften, Verbindung zu verschiedenen Netzen und Anzeige gemessener Objekte. Die Benutzerschnittstellenkarte **202** umfasst zusammen mit dem Bildschirmprozessor **328** und einer Benutzerschnittstelle für einen Flüssigkristallbildschirm (LCD-Bildschirm; liquid crystal display) **338** (z.B. ein berührungssensitiver LCD-Bildschirm) mehrere Schnittstellenoptionen, zu denen eine Secure-Digital-Karten-Schnittstelle (SD-Karten-Schnittstelle) **330**, ein Speicher **332**, eine USB-Host-Schnittstelle **334**, ein Diagnoseport **336**, ein Kameraport **340**, eine Audio-/Video-Schnittstelle **342**, ein Wähl-/Funkmodem **344** und ein Port **346** für das Global Positioning System (GPS) gehören.

[0061] Das in Fig. 3A abgebildete elektronische Datenverarbeitungssystem **210** umfasst des Weiteren eine Basisenergiekarte **206** mit einem Umgebungsaufzeichnungsgerät **362** zur Aufzeichnung von Umgebungsdaten. Die Basisenergiekarte **206** stellt

auch Energie für das elektronische Datenverarbeitungssystem **210** bereit, wobei ein Wechselstrom-Gleichstrom-Wandler **358** und eine Batterieladegerät-Steuerung **360** verwendet werden. Die Basisenergiekarte **206** steht über einen seriellen Single-Ended-Bus **354**, der einen Inter-Integrated Circuit (I2C) aufweist, sowie über eine serielle DMA-Peripherieschnittstelle (DSPI) **357** mit der Basisprozessorkarte **204** in Verbindung. Die Basisenergiekarte **206** ist über eine Ein-/Ausgabe(E/A)-Erweiterungsfunktion **364**, die in der Basisenergiekarte **206** implementiert ist, mit einem Neigungssensor und einem Radiofrequenzidentifikations-Modul (RFID-Modul) **208** verbunden.

[0062] Obwohl sie als getrennte Komponenten dargestellt sind, können alle oder kann eine Untergruppe der Komponenten bei anderen Ausführungsformen physisch an verschiedenen Stellen angeordnet sein und/oder die Funktionen auf andere Art als bei der in **Fig. 3A** und **Fig. 3B** dargestellten kombiniert sein. Beispielsweise sind die Basisprozessorkarte **204** und die Benutzerschnittstellenkarte **202** bei einer Ausführungsform in einer physischen Karte kombiniert.

[0063] Nun mit Bezug auf die **Fig. 4** bis **Fig. 9** ist eine beispielhafte Ausführungsform eines Sondenendes **401** mit einem Messsondengehäuse **102** mit einem mechanischen und elektrischen Schnellverbinderanschluss gezeigt, der das Koppeln einer abnehmbaren und austauschbaren Vorrichtung **400** an das Gelenkarm-KMG **100** gestattet. In der beispielhaften Ausführungsform umfasst die Vorrichtung **400** ein Gehäuse **402**, das einen Griffabschnitt **404** umfasst, der so bemessen und geformt ist, dass er in der Hand eines Bedieners gehalten werden kann, wie zum Beispiel bei einem Kolbengriff. Das Gehäuse **402** ist eine dünnwandige Struktur mit einem Hohlraum **406** (**Fig. 9**). Der Hohlraum **406** ist so bemessen und ausgeführt, dass er einen Controller **408** aufnehmen kann. Der Controller **408** kann eine digitale Schaltung, zum Beispiel mit einem Mikroprozessor, oder eine analoge Schaltung sein. In einer Ausführungsform kommuniziert der Controller **408** asynchron und bidirektional mit dem elektronischen Datenverarbeitungssystem **210** (**Fig. 2** und **Fig. 3**). Die Kommunikationsverbindung zwischen dem Controller **408** und dem elektronischen Datenverarbeitungssystem **210** kann drahtgebunden sein (z.B. über den Controller **420**), oder sie kann eine direkte oder indirekte drahtlose Verbindung (z.B. Bluetooth oder IEEE 802.11), oder aber eine Kombination von einer drahtgebundenen und einer drahtlosen Verbindung sein. In der beispielhaften Ausführungsform ist das Gehäuse **402** in zwei Hälften **410**, **412** ausgebildet, zum Beispiel aus einem Spritzguss-Kunststoffmaterial. Die Hälften **410**, **412** können durch Befestigungsmittel, wie zum Beispiel Schrauben **414**, aneinander befestigt sein. In anderen Ausführungsformen können die Gehäuse-

hälften **410**, **412** zum Beispiel durch Klebstoffe oder Ultraschallschweißen aneinander befestigt sein.

[0064] Der Griffabschnitt **404** umfasst auch Knöpfe oder Stellglieder **416**, **418**, die durch den Bediener manuell aktiviert werden können. Die Stellglieder **416**, **418** sind an den Controller **408** gekoppelt, der an einen Controller **420** innerhalb des Sondengehäuses **102** ein Signal übermittelt. In den beispielhaften Ausführungsformen führen die Stellglieder **416**, **418** die Funktionen der Stellglieder **422**, **424** aus, die auf dem Sondengehäuse **102** gegenüber der Vorrichtung **400** angeordnet sind. Es ist ersichtlich, dass die Vorrichtung **400** zusätzliche Schalter, Knöpfe oder andere Stellglieder aufweisen kann, die auch verwendet werden können, um die Vorrichtung **400**, das Gelenkarm-KMG **100**, oder umgekehrt zu steuern. Die Vorrichtung **400** kann zum Beispiel auch Anzeigevorrichtungen, wie Leuchtdioden (LEDs), Schallgeber, Messgeräte, Anzeigen oder Messinstrumente aufweisen. In einer Ausführungsform kann die Vorrichtung **400** ein digitales Sprachaufzeichnungsgerät umfassen, das die Synchronisation von verbalen Kommentaren mit einem gemessenen Punkt gestattet. In noch einer weiteren Ausführungsform umfasst die Vorrichtung **400** ein Mikrofon, das es dem Bediener gestattet, sprachgesteuerte Befehle an das elektronische Datenverarbeitungssystem **210** zu übertragen.

[0065] In einer Ausführungsform kann der Griffabschnitt **404** so konfiguriert sein, dass er mit jeder Hand des Bedieners oder mit einer bestimmten Hand (z.B. der linken Hand oder der rechten Hand) verwendet werden kann. Der Griffabschnitt **404** kann auch so konfiguriert sein, dass er von Bedienern mit Behinderungen bedient werden kann (z.B. Bediener, denen Finger fehlen, oder Bediener mit einer Armprothese). Des Weiteren kann der Griffabschnitt **404** abgenommen und das Sondengehäuse **102** alleine verwendet werden, wenn die Raumverhältnisse beengt sind. Wie oben besprochen, kann das Sondenende **401** auch die Welle der siebten Achse des Gelenkarm-KMGs **100** aufweisen. Bei dieser Ausführungsform kann die Vorrichtung **400** so angeordnet sein, dass sie sich um die siebte Achse des Gelenkarm-KMGs dreht.

[0066] Das Sondenende **401** umfasst eine mechanische und elektrische Schnittstelle **426** mit einem ersten Verbindungsstück **429** (**Fig. 8**) auf der Vorrichtung **400**, das mit einem zweiten Verbindungsstück **428** auf dem Sondengehäuse **102** zusammenwirkt. Die Verbindungsstücke **428**, **429** können elektrische und mechanische Merkmale umfassen, die das Koppeln der Vorrichtung **400** an das Sondengehäuse **102** gestatten. In einer Ausführungsform umfasst die Schnittstelle **426** eine erste Oberfläche **430** mit einem mechanischen Koppler **432** und einem darauf angeordneten elektrischen Verbindungsstück **434**. Das Gehäuse **402** umfasst auch eine zweite Oberfläche

436, die angrenzend an die erste Oberfläche **430** und versetzt zu dieser positioniert ist. In der beispielhaften Ausführungsform ist die zweite Oberfläche **436** eine planare Oberfläche, die um einen Abstand von etwa 1,27 cm (0,5 Inch) von der ersten Oberfläche **430** versetzt ist. Dieser Versatz schafft Raum für die Finger des Bedieners, wenn er eine Befestigungseinrichtung, wie einen Kragen **438**, anzieht oder löst. Die Schnittstelle **426** schafft eine relativ schnelle und sichere elektronische Verbindung zwischen der Vorrichtung **400** und dem Sondengehäuse **102**, ohne dass Steckerstifte ausgerichtet werden müssen, und ohne Bedarf an separaten Kabeln oder Verbindungsstücken.

[0067] Das elektrische Verbindungsstück **434** erstreckt sich von der ersten Oberfläche **430** und umfasst einen oder mehrere Steckerstifte **440**, die asynchron bidirektional mit dem elektronischen Datenverarbeitungssystem **210** elektrisch gekoppelt sind (**Fig. 2** und **Fig. 3**), wie zum Beispiel über einen oder mehrere Armbusse **218**. Die bidirektionale Kommunikationsverbindung kann (z. B. über den Armbus **218**) drahtgebunden, drahtlos (z. B. Bluetooth oder IEEE 802.11) oder eine Kombination aus einer drahtgebundenen und einer drahtlosen Verbindung sein. In einer Ausführungsform ist das elektrische Verbindungsstück **434** elektrisch an den Controller **420** gekoppelt. Der Controller **420** kann asynchron bidirektional mit dem elektronischen Datenverarbeitungssystem **210** kommunizieren, wie zum Beispiel über einen oder mehrere Armbusse **218**. Das elektrische Verbindungsstück **434** ist so positioniert, dass es eine relativ schnelle und sichere elektronische Verbindung mit dem elektrischen Verbindungsstück **442** auf dem Sondengehäuse **102** bietet. Die elektrischen Verbindungsstücke **434**, **442** sind miteinander verbunden, wenn die Vorrichtung **400** an dem Sondengehäuse **102** angebracht ist. Die elektrischen Verbindungsstücke **434**, **442** können jeweils ein mit Metall ummanteltes Verbindungsstückgehäuse aufweisen, das eine Abschirmung gegenüber elektromagnetischer Störung bietet und die Steckerstifte schützt sowie beim Anbringen der Vorrichtung **400** an dem Sondengehäuse **102** das Ausrichten der Stifte unterstützt.

[0068] Der mechanische Koppler **432** schafft eine relativ starre mechanische Kopplung zwischen der Vorrichtung **400** und dem Sondengehäuse **102**, um relativ präzise Anwendungen zu unterstützen, bei denen sich die Position der Vorrichtung **400** am Ende des Armabschnitts **104** des Gelenkarm-KMGs **100** vorzugsweise nicht verschiebt oder bewegt. Jede derartige Bewegung kann typischerweise eine unerwünschte Beeinträchtigung der Genauigkeit des Messergebnisses nach sich ziehen. Diese gewünschten Ergebnisse werden unter Verwendung von verschiedenen Strukturmerkmalen des mechanischen Anbringungskonfigurationsabschnitts des mechanischen und elektronischen Schnellverbinderan-

schlusses einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erreicht.

[0069] In einer Ausführungsform umfasst der mechanische Koppler **432** einen ersten Vorsprung **444**, der an einem Ende **448** (der Vorderkante oder der „Stirnseite“ der Vorrichtung **400**) positioniert ist. Der erste Vorsprung **444** kann eine ausgerundete, gekerbte oder geneigte Schnittstelle umfassen, die einen Rand **446** bildet, der sich von dem ersten Vorsprung **444** erstreckt. Der Rand **446** ist so bemessen, dass er in einem Schlitz **450** aufgenommen werden kann, der durch einen Vorsprung **452** definiert ist, der sich von dem Sondengehäuse **102** erstreckt (**Fig. 8**). Es ist ersichtlich, dass der erste Vorsprung **444** und der Schlitz **450** zusammen mit dem Kragen **438** eine Koppleranordnung bilden, so dass, wenn der Rand **446** innerhalb des Schlitzes **450** positioniert ist, der Schlitz **450** verwendet werden kann, um sowohl die längsgerichtete als auch die seitliche Bewegung der Vorrichtung **400** einzuschränken, wenn diese auf dem Sondengehäuse **102** angebracht ist. Wie später genauer besprochen wird, kann die Drehung des Kragens **438** dazu verwendet werden, den Rand **446** innerhalb des Schlitzes **450** zu sichern.

[0070] Gegenüber dem ersten Vorsprung **444** kann der mechanische Koppler **432** einen zweiten Vorsprung **454** umfassen. Der zweite Vorsprung **454** kann eine ausgerundete, gekerbte oder geneigte Schnittstellenfläche **456** aufweisen (**Fig. 5**). Der zweite Vorsprung **454** ist so positioniert, dass er in eine dem Sondengehäuse **102** zugeordnete Befestigungsvorrichtung, wie zum Beispiel den Kragen **438**, eingreift. Wie später genauer besprochen wird, umfasst der mechanische Koppler **432** eine erhabene Oberfläche, die von der Oberfläche **430** vorsteht, die an das elektrische Verbindungsstück **434** angrenzt oder um dieses herum angeordnet ist, die einen Drehpunkt für die Schnittstelle **426** bietet (**Fig. 7** und **Fig. 8**). Dies dient als der dritte von drei Punkten des mechanischen Kontakts zwischen der Vorrichtung **400** und dem Sondengehäuse **102**, wenn die Vorrichtung **400** daran angebracht ist.

[0071] Das Sondengehäuse **102** umfasst einen Kragen **438**, der koaxial an einem Ende angebracht ist. Der Kragen **438** umfasst einen Gewindeabschnitt, der zwischen einer ersten Position (**Fig. 5**) und einer zweiten Position (**Fig. 7**) beweglich ist. Durch Drehen des Kragens **438** kann der Kragen **438** verwendet werden, um die Vorrichtung **400** zu befestigen oder zu lösen, ohne dass externe Werkzeuge notwendig sind. Das Drehen des Kragens **438** bewegt den Kragen **438** entlang eines relativ groben Zylinders **474** mit quadratischem Gewinde. Die Verwendung von derartig großen, mit quadratischem Gewinde versehenen und konturierten Oberflächen ermöglicht eine erhebliche Klemmkraft bei einem minimalen Drehmoment. Die grobe Steigung der Gewinde des

Zylinders **474** gestattet des Weiteren, dass der Kragen **438** durch minimale Drehung angezogen oder gelöst werden kann.

[0072] Um die Vorrichtung **400** an das Sondengehäuse **102** zu koppeln, wird der Rand **446** in den Schlitz **450** eingeführt und die Vorrichtung verschwenkt, um den zweiten Vorsprung **454** zur Oberfläche **458** hin zu drehen, wie es durch den Pfeil **464** angezeigt ist (**Fig. 5**). Der Kragen **438** wird gedreht, wodurch sich der Kragen **438** in die durch den Pfeil **462** angezeigte Richtung bewegt oder verschiebt und mit der Oberfläche **456** in Eingriff kommt. Die Bewegung des Kragens **438** gegen die abgewinkelte Oberfläche **456** treibt den mechanischen Koppler **432** gegen die erhabene Oberfläche **460**. Dadurch kann die Überwindung potentieller Probleme bezüglich der Verzerrung der Schnittstelle oder fremder Objekte auf der Oberfläche der Schnittstelle, die den starren Sitz der Vorrichtung **400** auf dem Sondengehäuse **102** beeinträchtigen können, unterstützt werden. Die Kraftaufbringung durch den Kragen **438** auf den zweiten Vorsprung **454** bewirkt, dass sich der mechanische Koppler **432** nach vorne bewegt, wobei er den Rand **446** in einen Sitz auf dem Sondengehäuse **102** presst. Während der Kragen **438** weiter angezogen wird, wird der zweite Vorsprung **454** nach oben Richtung Sondengehäuse **102** gepresst, wobei Druck auf einen Drehpunkt ausgeübt wird. Dadurch wird eine Art von Wippenanordnung geschaffen, die Druck auf den zweiten Vorsprung **454**, den Rand **446** und den mittleren Drehpunkt ausübt, um ein Verschieben oder Wackeln der Vorrichtung **400** zu verringern oder zu verhindern. Der Drehpunkt presst unmittelbar gegen den Boden auf dem Sondengehäuse **102**, während der Rand **446** eine nach unten gerichtete Kraft auf das Ende des Sondengehäuses **102** ausübt. **Fig. 5** umfasst Pfeile **462**, **464**, um die Bewegungsrichtung der Vorrichtung **400** und des Kragens **438** zu zeigen. **Fig. 7** umfasst Pfeile **466**, **468**, **470**, um die Richtung des aufgebrachtten Drucks innerhalb der Schnittstelle **426** zu zeigen, wenn der Kragen **438** angezogen wird. Es ist ersichtlich, dass der Abstand des Versatzes der Oberfläche **436** der Vorrichtung **400** einen Spalt **472** zwischen dem Kragen **438** und der Oberfläche **436** schafft (**Fig. 6**). Der Spalt **472** gestattet es dem Bediener, einen festeren Griff an dem Kragen **438** zu erhalten, während die Gefahr des Einklemmens von Fingern beim Drehen des Kragens **438** verringert wird. In einer Ausführungsform weist das Sondengehäuse **102** eine ausreichende Steifigkeit auf, um die Verzerrung zu verringern oder verhindern, wenn der Kragen **438** angezogen wird.

[0073] Ausführungsformen der Schnittstelle **426** ermöglichen die korrekte Ausrichtung des mechanischen Kopplers **432** und des elektrischen Verbindungsstücks **434** und schützen die Elektronikschnittstelle auch vor aufgebrachtten Belastungen, die ansonsten auf Grund der Klemmwirkung des Kragens

438, des Rands **446** und der Oberfläche **456** auftreten könnten. Dies schafft den Vorteil, dass eine Beschädigung der auf einer Leiterplatte **476** montierten elektrischen Verbindungsstücke **434**, **442**, die gelötete Anschlussklemmen aufweisen können, durch Belastung vermindert oder verhindert werden kann. Die Ausführungsformen bieten auch gegenüber bekannten Ansätzen den Vorteil, dass ein Benutzer kein Werkzeug braucht, um die Vorrichtung **400** mit dem Sondengehäuse **102** zu verbinden oder von diesem zu trennen. Dadurch kann der Bediener die Vorrichtung **400** manuell mit dem Sondengehäuse **102** relativ einfach verbinden oder von diesem trennen.

[0074] Auf Grund der relativ hohen Zahl an abgeschirmten elektrischen Verbindungen, die mit der Schnittstelle **426** möglich sind, können das Gelenkarm-KMG **100** und die Vorrichtung **400** eine relativ hohe Zahl an Funktionen gemeinsam nutzen. Zum Beispiel können Schalter, Knöpfe oder andere Stellglieder, die sich an dem Gelenkarm-KMG **100** befinden, verwendet werden, um die Vorrichtung **400** zu steuern, oder umgekehrt. Des Weiteren können Befehle und Daten von dem elektronischen Datenverarbeitungssystem **210** zur Vorrichtung **400** übermittelt werden. In einer Ausführungsform ist die Vorrichtung **400** eine Videokamera, die Daten eines aufgezeichneten Bildes zur Speicherung in einem Speicher in dem Basisprozessor **204** oder zur Anzeige auf der Anzeige **328** überträgt. In einer anderen Ausführungsform ist die Vorrichtung **400** ein Bildprojektor, der Daten von dem elektronischen Datenverarbeitungssystem **210** empfängt. Außerdem können entweder in dem Gelenkarm-KMG **100** oder in der Vorrichtung **400** angeordnete Temperatursensoren mit der jeweiligen anderen gemeinsam genutzt werden. Es ist ersichtlich, dass Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung den Vorteil schaffen, dass eine flexible Schnittstelle geschaffen wird, die es ermöglicht, eine große Vielfalt von Zubehörvorrichtungen **400** schnell, einfach und zuverlässig an das Gelenkarm-KMG **100** zu koppeln. Des Weiteren kann die Möglichkeit des gemeinsamen Nutzens von Funktionen durch das Gelenkarm-KMG **100** und die Vorrichtung **400** zu einer Verringerung der Größe, des Stromverbrauchs und der Komplexität des Gelenkarm-KMGs **100** führen, indem diese nur einmal vorliegen müssen.

[0075] In einer Ausführungsform kann der Controller **408** den Betrieb oder die Funktionalität des Sondenendes **401** des Gelenkarm-KMGs **100** ändern. Zum Beispiel kann der Controller **408** Anzeigeleuchten auf dem Sondengehäuse **102** so ändern, dass entweder ein Licht mit einer anderen Farbe oder einer anderen Lichtintensität ausgestrahlt wird, oder dass das Licht zu anderen Zeiten ein- und ausgeschaltet wird, wenn die Vorrichtung **400** angebracht ist, im Gegensatz zu der Situation, in der das Sondengehäuse **102** alleine verwendet wird. In einer Ausführungsform um-

fasst die Vorrichtung **400** einen Entfernungsmesssensor (nicht gezeigt), der den Abstand zu einem Objekt misst. Bei dieser Ausführungsform kann der Controller **408** Anzeigeleuchten auf dem Sondengehäuse **102** ändern, um dem Bediener eine Anzeige zur Verfügung zu stellen, die zeigt, wie weit das Objekt von der Sondenspitze **118** entfernt ist. In einer anderen Ausführungsform kann der Controller **408** basierend auf der Qualität des von der codierten LLP **242** aufgenommenen Bildes die Farbe der Anzeigelichter ändern. Dies schafft Vorteile dahingehend, dass die Anforderungen des Controllers **420** vereinfacht werden, und gestattet eine verbesserte oder höhere Funktionalität durch Hinzufügung von Zubehörvorrichtungen.

[0076] Mit Bezug auf die **Fig. 10** bis **Fig. 11** bieten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung Vorteile für Kamera, Signalverarbeitung, Steuerung und Anzeigeschnittstellen für eine Laserliniensonde (LLP) **500**, die Teil einer Messeinheit **490** ist. Die LLP **500** kann die gleiche sein wie die hier vorstehend mit Bezug auf die **Fig. 1** bis **Fig. 9** angegebene LLP **242**. Die LLP **500** bietet berührungslose Messungen eines Objekts, typischerweise im gleichen Bezugsrahmen wie derjenige der harten Sonde **118** des Gelenkarm-KMGs **100**, wie vorstehend besprochen. Außerdem basieren die berechneten dreidimensionalen Koordinaten von Oberflächenpunkten, die von der LLP **500** bereitgestellt werden, auf den bekannten Grundlagen der Dreiecksvermessung, wie ausführlicher nachstehend erläutert wird. Die LLP **500** kann ein Gehäuse **502** mit einem Griffabschnitt **504** umfassen. Die LLP **500** umfasst des Weiteren eine Schnittstelle **426** an einem Ende, die die LLP **500** mechanisch und elektrisch an das Sondengehäuse **102** koppelt, wie hier vorstehend beschrieben wurde. Die Schnittstelle **426** ermöglicht das schnelle und einfache Koppeln und Abnehmen der LLP **500** an das und von dem Gelenkarm-KMG **100** ohne die Notwendigkeit zusätzlicher Werkzeuge.

[0077] Angrenzend an die Schnittstelle **426** hat das Gehäuse **502** einen Abschnitt **506**, der einen Projektor **508** und eine Kamera **510** umfasst. In der beispielhaften Ausführungsform verwendet der Projektor **508** eine Lichtquelle, die eine auf eine Objektfläche projizierte gerade Linie erzeugt. Die Lichtquelle kann zum Beispiel ein Laser, eine superstrahlende Diode (superluminescent diode, SLD), ein Glühlicht oder eine Leuchtdiode (LED) sein. Das projizierte Licht kann sichtbar oder unsichtbar sein, aber sichtbares Licht kann in manchen Fällen günstiger sein. Die Kamera **510** umfasst eine Linse und einen Bildgebungssensor. Der Bildgebungssensor ist eine lichtempfindliche Matrix, die zum Beispiel eine ladungsgekoppelte Vorrichtung (CCD), ein zweidimensionaler („2D“)-Bereichssensor oder ein Komplementär-Metalloxid-Halbleiter (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, CMOS)-2D-Bereichssensor sein kann, oder es kann eine andere Art von Vorrichtung

sein. Jeder Bildgebungssensor kann eine 2D-Matrix (d. h. Reihen, Spalten) von mehreren Lichtwahrnehmungsbildelementen („Pixeln“) umfassen. Jedes Pixel umfasst typischerweise wenigstens einen Photodetektor, der Licht in eine elektrische Ladung umwandelt, die innerhalb der Pixelvertiefungen gespeichert und als ein Spannungswert ausgelesen werden. Spannungswerte werden durch einen Analog-Digital-Wandler (Analog-to-Digital Converter, ADC) in digitale Werte umgewandelt. Der ADC ist bei einem CMOS-Sensorchip typischerweise in dem Sensorchip enthalten. Der ADC ist bei einem CCD-Sensorchip typischerweise außerhalb des Sensorchips auf einer Leiterplatte vorgesehen.

[0078] In einer beispielhaften Ausführungsform sind der Projektor **508** und die Kamera **510** so ausgerichtet, dass sie ermöglichen, dass reflektiertes Licht von der lichtempfindlichen Matrix abgebildet wird. In einer Ausführungsform wird die LLP **500** von der Sondenspitze **118** versetzt, um es der LLP **500** zu ermöglichen, ohne Störung durch die Sondenspitze **118** betrieben zu werden. Mit anderen Worten kann die LLP **500** betrieben werden, wenn die Sondenspitze **118** an ihrem Platz angeordnet ist. Des Weiteren ist ersichtlich, dass die LLP **500** relativ zur Sondenspitze **118** im Wesentlichen fixiert ist, so dass Kräfte auf dem Griffabschnitt **504** die Ausrichtung der LLP **500** relativ zur Sondenspitze **118** nicht beeinflussen. In einer Ausführungsform kann die LLP **500** ein zusätzliches Stellglied (nicht gezeigt) aufweisen, das es dem Bediener gestattet, zwischen der Erfassung von Daten durch die LLP **500** und durch die Sondenspitze **118** hin- und herzuschalten.

[0079] Der Projektor **508** und die Kamera **510** sind elektrisch an einen Controller **512** gekoppelt, der innerhalb des Gehäuses **502** angeordnet ist. Der Controller **512** kann einen oder mehrere Mikroprozessoren, digitale Signalprozessoren, Speicher und andere Arten von Signalaufbereitungs- und/oder -speicherschaltungen umfassen. Wegen des von der LLP **500** erzeugten großen Datenvolumens kann der Controller **512** innerhalb des Griffabschnitts **504** angeordnet werden. Der Controller **512** ist über ein elektrisches Verbindungsstück **434** elektrisch mit den Armbussen **218** gekoppelt. Die LLP **500** weist des Weiteren Stellglieder **514**, **516** auf, die manuell vom Bediener aktiviert werden können, um den Betrieb und die Datenerfassung durch die LLP **500** einzuleiten.

[0080] **Fig. 12** zeigt eine Ausführungsform einer LLP **520**, die einen Lichtprojektor **508** und zwei Kameras **510** umfasst, wobei die Kameras **510** dafür ausgelegt sind, die vom Projektor **508** auf eine Oberfläche projizierte Linie separat abzubilden. Die Redundanz in den von den zwei Kameras **510** bereitgestellten Bildern kann die Messgenauigkeit verbessern und auch eine Möglichkeit bieten, zwei Regionen ei-

ner Objektoberfläche zu betrachten, die für eine der Kameras **510** nicht sichtbar ist.

[0081] Fig. 13 zeigt Elemente einer LLP **4500**, die einen Projektor **4520** und eine Kamera **4540** umfasst. Der Projektor **4520** umfasst ein Quelllichtmuster **4521** und eine Projektorlinse **4522**. Das Quelllichtmuster umfasst ein beleuchtetes Muster in Form einer Linie. Die Projektorlinse umfasst ein Projektorperspektivitätszentrum und eine optische Projektorachse, die durch das Projektorperspektivitätszentrum hindurchgeht. In dem Beispiel von Fig. 13 ist ein mittlerer Strahl des Lichtstrahls **4524** mit der optischen Perspektivitätsachse ausgerichtet. Die Kamera **4540** umfasst eine Kameralinse **4542** und eine lichtempfindliche Matrix **4541**. Die Linse hat eine optische Kameraachse **4543**, die durch ein Perspektivitätszentrum der Kameralinse **4544** hindurchgeht. In dem beispielhaften System **4500** sind die optische Projektorachse, die mit dem Lichtstrahl **4524** ausgerichtet ist, und die optische Kameralinsenachse **4544** senkrecht zu der Lichtlinie **4523**, die von dem Quelllichtmuster **4521** projiziert wird. Mit anderen Worten liegt die Linie **4523** in Richtung senkrecht zum Papier in Fig. 13. Die Linie trifft auf eine Objektoberfläche, die mit einem ersten Abstand von dem Projektor die Objektoberfläche **4510A** und mit einem zweiten Abstand von dem Projektor die Objektoberfläche **4510B** ist. Es versteht sich, dass sich die Objektoberfläche in verschiedenen Höhen über oder unter der Ebene des Papiers von Fig. 13 in einem anderen Abstand vom Projektor befinden kann. Die Lichtlinie schneidet die Oberfläche **4510A** (in der Ebene des Papiers) an einem Punkt **4526**, und sie schneidet die Oberfläche **4510B** (in der Ebene des Papiers) in einem Punkt **4527**. Bei dem Schnittpunkt **4526** wandert ein Lichtstrahl von dem Punkt **4526** durch das Perspektivitätszentrum der Kameralinse **4544**, um die lichtempfindliche Matrix **4541** in einem Bildpunkt **4546** zu schneiden. Bei dem Schnittpunkt **4527** wandert ein Lichtstrahl von dem Punkt **4527** durch das Perspektivitätszentrum der Kameralinse, um die lichtempfindliche Matrix **4541** in einem Bildpunkt **4547** zu schneiden. Durch Vermerken der Position des Schnittpunktes relativ zur Position der optischen Kameralinsenachse **4544** kann der Abstand von dem Projektor (und der Kamera) zu der Objektoberfläche unter Anwendung der Grundlagen der Dreiecksvermessung bestimmt werden. Der Abstand von dem Projektor zu anderen Punkten auf der Lichtlinie **4526**, das heißt zu Punkten auf der Lichtlinie, die nicht in der Ebene des Papiers von Fig. 13 liegen, können auf ähnliche Weise ermittelt werden.

[0082] In einer Ausführungsform ist die lichtempfindliche Matrix **4541** so ausgerichtet, dass sie entweder die Matrixreihen oder die Matrixspalten in Richtung des reflektierten Laserstreifens positioniert. In diesem Fall bietet die Position eines Lichtpunkts entlang einer Richtung der Matrix Informationen, die be-

nötigt werden, um einen Abstand zum Objekt zu bestimmen, wie durch den Unterschied der Positionen der Punkte **4546** und **4547** aus Fig. 13 angezeigt ist. Die Position des Lichtpunkts in der orthogonalen Richtung auf der Matrix bietet Informationen, die benötigt werden, um zu bestimmen, wo entlang der Länge der Laserlinie die Lichtebeane das Objekt schneidet.

[0083] In dieser Beschreibung versteht es sich, dass sich die Begriffe Spalte und Reihe einfach auf eine erste Richtung entlang der lichtempfindlichen Matrix und eine zweite Richtung senkrecht zur ersten Richtung beziehen. Als solche beziehen sich die Begriffe Reihe und Spalte, wie sie hier verwendet werden, nicht unbedingt auf Reihen und Spalten gemäß von einem Hersteller der lichtempfindlichen Matrix **4541** bereitgestellter Dokumentation. In der nachstehenden Besprechung wird der Begriff Reihen in dem Sinne verwendet, dass sie in der Ebene des Papiers auf der Oberfläche der lichtempfindlichen Matrix liegen. Der Begriff Spalten wird in dem Sinne verwendet, dass sie sich auf der Oberfläche der lichtempfindlichen Matrix und orthogonal zu den Reihen befinden. Es sind jedoch andere Anordnungen möglich.

[0084] Der Projektor **508** aus den Fig. 10 bis Fig. 12 kann auf vielfältige Arten gebaut werden. Es werden nun zwei Projektorausführungsformen beschrieben, die in den Fig. 14A und Fig. 14B gezeigt sind. Diese Ausführungsformen stellen den Projektor **508**, der in den Fig. 10 bis Fig. 12 gezeigt ist, bereit. In einer ersten Ausführungsform eines Linienprojektors **1400**, die in Fig. 41A veranschaulicht ist, projiziert eine Lichtquelle **1405**, die zum Beispiel eine Laserdiode oder eine superstrahlende Diode sein kann, Licht in eine Zylinderlinse **1410**. Von der Seite gesehen ist die Zylinderlinse an wenigstens einem Rand gekrümmt. Von vorne gesehen hat die Zylinderlinse ein rechteckiges Profil. Die Lichtquelle **1405** ist in Bezug auf die Linse **1410** so angeordnet, dass sie das Licht in die Richtung kollimiert, die von der Seite der Linse gesehen wird. Von der Vorderseite der Linse breitet sich das Licht von der Lichtquelle **1405** weiter mit dem Anfangswinkel der Ausgabe A aus. Das resultierende Lichtmuster, das aus dem Projektor **1400** austritt, ist relativ schmal und flach in einer Richtung und relativ breiter in der anderen Richtung, wobei das Licht in einem Winkel A auseinandergeht, wie in Fig. 14A gezeigt ist.

[0085] In einer zweiten Ausführungsform des in Fig. 14B gezeigten Projektors **1450** projiziert die Lichtquelle **1455** Licht auf eine Spiegelvorrichtung **1460** mit mikroelektromechanischem System (MEMS). Ein Beispiel für eine allgemein bekannte Vorrichtung dieser Art ist der digitale Lichtprojektor (DLP), der in vielen Ausführungen von Texas Instruments hergestellt wird. Eine MEMS-Spiegelvorrichtung umfasst eine Sammlung von kleinen Spiegelele-

menten und Stellgliedern, die in einen Halbleiterchip eingebaut sind, wobei die Spiegelemente elektrisch aktiviert werden können. Durch Abwinkeln der Spiegelemente in zugewiesene Richtungen können die Spiegelemente so eingestellt werden, dass sie das Licht in eine gewünschte Richtung projizieren oder das Licht unterdrücken. Die Spiegel können auch mit einer relativ hohen Vibrationsrate bewegt werden, um es zu ermöglichen, dass ein Teil des Lichts projiziert wird, wodurch die in eine gegebene Richtung projizierte Lichtleistung geändert wird. Auf diese Weise kann ein gewünschtes Muster, wie eine Linie von Laserlicht, projiziert werden. Das Licht aus der MEMS-Spiegelvorrichtung geht durch eine Linse **1470** hindurch, wodurch die Lichtlinie **1465** auf einem zu prüfenden Objekt abgebildet wird.

[0086] Jeder der Projektoren **1400**, **1450** hat ein Perspektivitätszentrum. Das Perspektivitätszentrum des Projektors **1400** ist der Punkt **1415**, und das Perspektivitätszentrum des Projektors **1450** ist der Punkt **1475**. In jedem Fall ist das Perspektivitätszentrum der Punkt, von welchem aus Lichtstrahlen nach einer Korrektur (auch als Kompensation bekannt) auf ihrem Weg zur beleuchteten Oberfläche austreten. Bei der Zylinderlinse **1410** scheint das Licht von der Mitte der Lichtquelle **1415** auszutreten. Es ist eine gewisse Korrektur notwendig, um der Lichtbrechung durch die Zylinderlinse **1410** Rechnung zu tragen, aber dies ist ein kleiner Effekt. Bei der MEMS-Vorrichtung **1460** und einer sphärischen Linse **1470** ist das Perspektivitätszentrum der Punkt, von welchem aus Lichtstrahlen nach einer Korrektur von optischen Fehlern, auf ihrem Weg zur beleuchteten Oberfläche austreten.

[0087] In der Praxis werden Kompensationsverfahren häufig unter Verwendung von Punktplatten eingesetzt, um Kompensationsparameter für ein Linsensystem, wie die Linse **1470**, zu bestimmen. Kompensationsparameter bieten Informationen über Linsenfehler, die Linsenbrennweite und das Zentrieren auf die Matrix, die Grundlinienlänge und den Kippwinkel der Kamera und des Projektors relativ zur Grundlinie. Eines der Ziele von Kompensationsparametern besteht darin, es zu ermöglichen, ein einfaches Modell zu verwenden, in dem das Linsensystem ein Perspektivitätszentrum **1475** hat. Ein ähnliches Kompensationsverfahren kann für die Zylinderlinse **1410** aus **Fig. 14A** verwendet werden. Ein Unterschied zwischen den Systemen aus den **Fig. 14A** und **Fig. 14B** besteht darin, dass die Aufgabe des Systems aus **Fig. 14B** darin besteht, eine Lichtlinie **1465** auf der Oberfläche eines Objekts abzubilden. Im Gegensatz dazu ist die Aufgabe der Zylinderlinse **1400** die Kollimation des Lichts in einer ersten Dimension und eine fortgesetzte Projektion eines auseinandergelassenen Strahls in der orthogonalen Richtung. Wichtig bei der Linse **1410** oder der Linse **1470** ist jedoch, dass Licht als von einem einzigen Perspektivitätszentrumspunkt austretend angesehen werden kann.

[0088] Da der Punkt **4547** in **Fig. 13** von dem Perspektivitätszentrum **4544** weiter entfernt ist als der Punkt **4546**, ist der Abstand vom Perspektivitätszentrum zum Punkt **4547**, um eine ideale Fokussierung zu erhalten, kleiner als der Abstand vom Perspektivitätszentrum zum Punkt **4546**. Um das Fokussieren des auf das Objekt **4510** projizierten Lichts über einen Bereich von Abständen von dem Linienscanner zu verbessern, kann die lichtempfindliche Matrix gekippt werden, um den soeben beschriebenen Effekt zu erreichen, der darin besteht, den Punkt **4547** näher an das Perspektivitätszentrum zu rücken als den Punkt **4546**. Das Kippen der lichtempfindlichen Matrix auf diese Weise ist ein Beispiel für das Anordnen der Kamera gemäß dem Scheimpflug-Prinzip. Da dieses Prinzip auf dem Fachgebiet allgemein bekannt ist, wird es nicht weiter besprochen.

[0089] Die **Fig. 15A** bis **D** stellen Bilder dar, die auf einer lichtempfindlichen Matrix **1505** gesehen werden, wie die Matrix **4541** von **Fig. 13**. In **Fig. 15A** wird das von einer lichtempfindlichen Matrix gesehene Muster **1507** für eine besondere Objektfläche für den Fall gesehen, in dem die Bestrahlungsstärke (Lichtleistung pro Flächeneinheit) in jedes Kamerapixel im Wesentlichen konstant ist, und zwar unabhängig von der Position entlang des Streifens. In diesem Fall besitzen die Pixel in der Nähe der Mitte des reflektierten Streifenmusters **1507** Pixelvertiefungen, die mit ungefähr derselben Anzahl an Elektronen gefüllt sind. Wenn diese Elektronen von einem ADC in ein digitales Signal umgewandelt werden, ist der digitale Signalpegel für jedes dieser Pixel ungefähr gleich.

[0090] In einer anderen Oberfläche mit einer ähnlichen Form aber einem anderen Reflexionsmuster ist die Form des von der lichtempfindlichen Matrix empfangenen Streifens gleich, aber die Anzahl der Pixel in den Vertiefungen variiert wesentlich, wie für das Muster **1527** aus **Fig. 15B** veranschaulicht ist. In diesem Fall reflektieren die Regionen **1525A**, **1525C**, **1525E** und **1525G** eine relativ große Lichtmenge, wodurch die Pixel gesättigt werden. In einem Extremfall überflutet die Anzahl der Elektronen die Vertiefungen, was zu einem als Ausschwitzen bekannten Effekt führt. Im allgemeineren Fall betrifft die Sättigung einen Zustand, in dem Elektronen in Reaktion auf den auf die Vertiefung aufgebrauchten Lichtpegel nicht linear erzeugt werden. Im Gegensatz dazu reflektieren die Regionen **1525B**, **1525D** und **1525F** so wenig Licht, dass sich die Elektronen in der Vertiefung zu einem beträchtlichen Ausmaß eher durch elektrische Störung als durch das einfallende Licht ergeben. In diesem Bereich mit wenig Licht ist die elektrische Reaktion wiederum nicht linear in Bezug auf den einfallenden Lichtpegel. Aufgrund der fehlenden Linearität wird der Abstand zur Objektfläche für das von dem Sensor in **Fig. 15B** erhaltene Bild nicht korrekt bestimmt.

[0091] Um dieses Problem zu umgehen, wird nun ein Verfahren gemäß einer Ausführungsform beschrieben. Die Lichtlinie wird mehrere Male mit verschiedenen Lichtleistungspegeln projiziert, und die Pixel innerhalb des linearen Bereichs der lichtempfindlichen Matrix werden dann ausgewählt. Auf diese Weise werden gültige Daten für die Abschnitte des Objekts, die eine relativ große Lichtmenge reflektieren und die Abschnitte, die eine relativ kleine Lichtmenge reflektieren, erhalten. Im Beispiel aus **Fig. 15** wird Licht mit einem relativ geringen Leistungspegel in einem ersten Schritt von **Fig. 15C** und mit einem relativ hohen Leistungspegel in einem zweiten Schritt von **Fig. 15D** projiziert. Im ersten Schritt von **Fig. 15C** liegt Licht in den Regionen **1545A**, **1545C**, **1545E** und **1545G** innerhalb der linearen Region der lichtempfindlichen Matrix vor, wodurch gültige Ergebnisse erzeugt werden. Das Licht in den Regionen **1545B**, **1545D** und **1545F** hat eine zu geringe Lichtleistung, um eine lineare Reaktion zu erzeugen. Stattdessen wird das elektrische Signal in den Pixeln dieser Regionen durch elektrische Störung dominiert. Im zweiten Schritt von **Fig. 15D** liegt Licht in den Regionen **1565B**, **1565D** und **1565F** innerhalb der linearen Region der lichtempfindlichen Matrix vor, wodurch gültige Ergebnisse erzeugt werden. Das Licht in den Regionen **1565A**, **1565C**, **1565E** und **1565G** hat eine zu große Lichtleistung und verursacht Sättigung. Somit kann man sich auf die digitalen Werte, die für die Pixel in diesen Regionen erhalten werden, nicht verlassen. Durch Kombinieren der aus den Regionen **1545A**, **1545C**, **1545E** und **1545G** erhaltenen digitalen Ableesungen mit den aus den Regionen **1565B**, **1565D** und **1565F** erhaltenen digitalen Ableesungen können über die gesamte Matrix gültige Ableesungen erhalten werden.

[0092] In manchen Fällen kann es nötig sein, mehr als zwei Lichtleistungspegel zu verwenden, um den Abstand zu allen Punkten auf einer Oberfläche genau zu bestimmen. Es kann jede Anzahl von Pegeln verwendet werden. Falls zum Beispiel drei Pegel der Lichtleistung verwendet werden, kann man diese als schwache, mittlere und starke Lichtleistungen bezeichnen.

[0093] Der Pegel von von einem Abschnitt einer Objektoberfläche reflektiertem Licht hängt von dem Reflexionsvermögen des Materials für die gegebene Wellenlänge von Licht ab (die auf eine flache Probe aus diesem Material projiziert wird). Der Reflexionsgrad einer gegebenen Art von Material kann von dem Gefüge des Materials abhängen. Falls das Material zum Beispiel sehr glatt ist, kann es eher als ein Spiegel wirken als eine Oberfläche, die diffus streut, wie für gewöhnlich angenommen wird. Der Reflexionsgrad hängt auch vom Einfallswinkel des projizierten Lichts auf das Objekt und vom Reflexionswinkel des zur Kamera reflektierten Lichts ab. Sehr steile

Oberflächen reflektieren eine relativ kleine Menge an Licht.

[0094] Wenn eine Messung zunächst begonnen wird, kann es sein, dass der gesamte Reflexionsgrad einer Objektoberfläche nicht bekannt ist, mit dem Ergebnis, dass die anfängliche Lichtleistung zu niedrig oder zu hoch gewählt wird. Die für eine sequentielle Projektion von Lichtleistungen ausgewählte anfängliche Lichtleistung kann gemäß der beobachteten Reaktion der lichtempfindlichen Matrix eingestellt werden.

[0095] Die vorstehende Besprechung geht davon aus, dass die Lichtleistung so eingestellt wird, dass sich die Anzahl von Elektronen innerhalb der Pixelvertiefungen ändert. Es ist jedoch gleichermaßen möglich, an Stelle der Lichtleistung die Belichtungsdauer (Integrationszeit) einzustellen. Eine Möglichkeit, die kombinierten Effekte der Lichtleistung und der Integrationszeit einzubeziehen, ist die Verwendung einer integrierten Energie. Wir können von der integrierten Energie einer Lichtlinie als das Integral der Lichtleistung (zum Beispiel Einheiten von Watt) der Lichtlinie über eine spezifizierte Integrationszeit (Einheit von Sekunden) sprechen, um eine integrierte Energie (zum Beispiel Einheiten von Joule) für die Linie zu erhalten. Falls sich entweder die Lichtleistung der Lichtlinie oder die Integrationszeit der Pixel ändert (für eine besondere geometrische Anordnung des Linienscanners relativ zur Objektoberfläche), füllen sich die Pixelvertiefungen als Reaktion darauf mehr oder weniger.

[0096] Wir können auch von einer optischen Energie für jedes der Pixel in der Matrix sprechen. Die optische Energie für ein Pixel gleicht dem Integral der Lichtleistung, die über die Integrationszeit des Pixels auf das Pixel fällt. Falls sich die integrierte Energie einer Lichtlinie ändert, ändert sich die optische Energie eines jeden Pixels in der Matrix um eine proportionale Menge für ein Pixel, das innerhalb des linearen Bereichs arbeitet. Zum Beispiel ist bei **Fig. 15C** die integrierte Energie der Lichtlinie geringer als bei **Fig. 15D**, und die Pixel der **Fig. 15C** bis **D** (die innerhalb des linearen Bereichs liegen) reagieren im Verhältnis zur integrierten Energie.

[0097] Wie vorstehend erläutert wurde, wird eine Dreiecksvermessungsberechnung vorgenommen, um den Abstand vom Scanner zu einem Oberflächenpunkt zu bestimmen. Dies erfolgt durch Anpassen eines Punktes auf der projizierten Linie **4523** (**Fig. 13**) an einen entsprechenden Punkt auf der lichtempfindlichen Matrix. Um diese Entsprechung vorzunehmen, ist es notwendig, einen Mittelwert für den Laserstreifen an jeder Position entlang der Streifenlänge zu bestimmen. Wie zum Beispiel in **Fig. 16** gezeigt ist, kann eine der Reihen **1610** in einer Matrix ein Muster von digitalen Werten **1620** erzeugen. Die

Werte 1 bis P sind die Werte, die von einem ADC erhalten wurden. Zum Beispiel ist der Wert P für einen 10-Bit-ADC $2^{10} = 1024$. Entsprechend der Illustration von **Fig. 15** wird angenommen, dass die Matrix **1610** N Spalten hat. Die Mitte des Musters von digitalen Werten kann durch eine Reihe von verschiedenen Verfahren bestimmt werden. Zum Beispiel besteht ein einfaches Verfahren darin, die Spaltenzahl des Pixels mit dem größten digitalen Wert auszuwählen. Dieser Wert, der in dem Beispiel von **Fig. 16** gleich 60 ist, wird von dem Marker **1632** angezeigt. Ein weiteres Verfahren besteht darin, den Schwerpunkt der digitalen Werte zu nehmen, der in diesem Fall 59,7966 beträgt, angezeigt durch den Marker **1636**. Ein drittes Verfahren besteht darin, die digitalen Werte in eine Gaußsche Kurve einzutragen, welches eine Kurve mit einer Formel $\exp(-(x - x_0)^2/w^2)$ ist, wobei \exp die Exponentialfunktion ist, x eine Spaltenposition ist, x_0 der Mittelwert ist und w eine Breite der Gaußschen Kurve ist. In diesem Fall ist der Mittelwert gleich 59,8697, wie durch den Marker **1634** angezeigt ist. Viele andere Verfahren sind zur Bestimmung eines Mittelwertes möglich.

[0098] In einer Ausführungsform werden zwei oder mehr Bilder – zum Beispiel die Bilder aus den **Fig. 15C** und **Fig. 15D** – mit einer lichtempfindlichen Matrix erfasst und mit einem ADC in digitale Werte umgewandelt. Die digitalen Werte werden verarbeitet, um genaue 3D-Koordinaten über einen größeren Abschnitt der Objektoberfläche bereitzustellen, als es ansonsten möglich sein könnte. In einer Ausführungsform, die in **Fig. 17** gezeigt ist, werden mehrere Bilder verarbeitet, um zusammengefasste Daten zu erhalten. Für das Bild 1 aus **Fig. 17A** und das Bild 2 aus **Fig. 17B** wird ein Höchstwert für jede Reihe des Bildes ermittelt. Die Reihen in den **Fig. 17A**, **Fig. 17B** reichen jeweils von 1 bis M. Jede dieser Reihen umfasst N Spalten (wie in den **Fig. 15** und **Fig. 16** angezeigt ist), und das Maximum der digitalen Werte innerhalb dieser Spalten wird für jede Reihe ausgewählt. Die Höchstwerte für jede der Reihen werden in eine Zelle einer Matrix **1710** aus **Fig. 17A** und eine Zelle **1730** aus **Fig. 17B** gegeben. Für die Reihen von **1710**, **1730**, bei denen der Höchstwert innerhalb eines bevorzugten Wertebereichs liegt, für den die Reaktion eher als ungefähr linear als gesättigt oder von elektrischer Störung beherrscht angesehen wird, wird eine Berechnung des Mittelwertes der Zelle gemäß einem Verfahren vorgenommen, das mit Bezug auf **Fig. 16** beschrieben wurde, oder durch ein anderes Verfahren. Dieser berechnete Wert wird in eine Zelle der Matrix **1715**, **1735** gegeben. Falls der Höchstwert einer Reihe nicht innerhalb des bevorzugten Bereichs liegt, wird keine Berechnung vorgenommen, und die entsprechende Zelle von **1715**, **1735** wird auf irgendeine Weise identifiziert – zum Beispiel durch Freilassen der Zelle oder durch Eingabe eines negativen Wertes in die Zelle.

[0099] Die Werte in den Zellen von **1715**, **1735** werden verwendet, um zusammengesetzte Werte für die Reihen einer zusammengesetzten Matrix **1765** von **Fig. 17C** zu bestimmen. Falls beide Zellen von **1715**, **1735** für eine gegebene Reihe mit einem Wert belegt sind, können diese Werte auf vielfältige Weise kombiniert werden, um einen einzigen zusammengesetzten Wert für die entsprechende Zelle von **Fig. 17C** zu erhalten. Zum Beispiel kann das Maximum der beiden Werte ausgewählt werden. Als weiteres Beispiel können die beiden Werte gemäß einer Gewichtungs-skala abhängig von einer spezifizierten Art auf die Höchstwerte der entsprechenden Zellen von **1710**, **1730** gewichtet werden. Falls nur eine der Zellen von **1715**, **1735** mit einem Wert belegt ist, ist dieser Wert der entsprechende zusammengesetzte Wert. Falls keine der Zellen von **1715**, **1735** mit einem Wert belegt ist, kann die Zelle von **1770** aus **Fig. 17C** freigelassen, mit einer negativen Zahl gefüllt oder auf andere Weise markiert werden.

[0100] Das für **Fig. 17** gegebene Beispiel gilt für den Fall von zwei Bildern (Bild 1 und Bild 2), aber wie durch das Auslassungszeichen nach dem Bild 2 angedeutet, können bei der Bestimmung der zusammengesetzten Matrix aus **Fig. 17C** mehr Bilder einbezogen werden.

[0101] Der Abstand vom Linienscanner zu einem Punkt auf einer Objektoberfläche kann aus den Werten in der zusammengesetzten Matrix ermittelt werden. Wie aus **Fig. 13** ersichtlich ist, entspricht eine Änderung des Abstands vom Scanner zur Oberfläche einer Verschiebung der Spaltenposition, an der der beleuchtete Oberflächenpunkt auf der lichtempfindlichen Matrix **4541** abgebildet wird. Ferner entspricht jede Reihenposition auf der lichtempfindlichen Matrix **4541** einer besonderen Position auf der Lichtlinie **4523** an der Position, an der die Linie die Oberfläche beleuchtet. Da Lichtstrahlen durch das Kameraperspektivitätszentrum **4544** hindurchgehen, neigen die Reihenpositionen dazu, sich näher an die Reihenmitte der lichtempfindlichen Matrix **4541** zu bewegen, wenn sich der Abstand von dem Linienscanner zum Objekt vergrößert. Durch Beobachten sowohl der Reihen- als auch der Spaltenpositionen des Streifens auf der lichtempfindlichen Matrix **4541** werden die 3D-Koordinaten der beleuchteten Punkte innerhalb des Scanner-Bezugsrahmens bestimmt (d.h. innerhalb des Scanner-Koordinatensystems).

[0102] Die Bestimmung der 3D-Koordinaten basiert auf einer Dreiecksvermessungsberechnung. Um diese Berechnung vorzunehmen, ist es notwendig, den Grundlinienabstand zu kennen, welches der Abstand zwischen dem Kameraperspektivitätszentrum und dem Projektorspektivitätszentrum ist. Es ist auch notwendig, die relative Ausrichtung der Kamera und des Projektors zu kennen. Das Verfahren zur Durchführung einer Dreiecksvermessungsbe-

rechnung ist auf dem Fachgebiet bekannt und wird hier nicht weiter besprochen.

[0103] In manchen Fällen können Diagnoseverfahren anzeigen, dass ein besonderer Wert innerhalb einer Zelle ungültig ist. Zum Beispiel kann die allgemeine Verteilung von Licht innerhalb einer Reihe eine Abnormalität in dem reflektierten Lichtmuster anzeigen, was eine weitere Untersuchung erfordert. Eine Analyse von reflektierten Lichtmustern basierend auf der beobachteten Form des gemessenen Objekts kann anzeigen, dass eine Mehrpfadstörung vorliegt, wobei Licht an einem Punkt auf dem geprüften Objekt nicht nur vom Projektor, sondern auch von einer sekundären Reflexion vom Objekt selbst ankommt. Für einen Fall, in dem ein Diagnoseverfahren anzeigt, dass ein Punkt nicht gültig ist (oder vielleicht nicht gültig ist), kann ein zusätzlicher Schritt darin bestehen, den zusammengesetzten Mittelwert aus der entsprechenden Zelle in der Matrix **1770** der **Fig. 17C** zu entfernen.

[0104] **Fig. 18** beschreibt Schritte eines Verfahrens **1800** zum Messen von 3D-Koordinaten einer Objektfläche unter Verwendung eines Linienscanners gemäß einer Ausführungsform. Ein Schritt **1805** stellt einen Linienscanner bereit, der einen Prozessor, einen Projektor und eine Kamera umfasst, wobei der Linienscanner einen ersten Bezugsrahmen aufweist, wobei der Projektor eine Lichtquelle und eine Projektorlinse umfasst, wobei der Projektor dafür ausgelegt ist, eine Lichtlinie im Wesentlichen gerade auszugeben, wenn sie auf eine Ebene senkrecht zu einer Ausbreitungsrichtung des Lichts projiziert wird, wobei der Projektor ein Projektorperspektivitätszentrum umfasst, wobei die Kamera eine lichtempfindliche Matrix und eine Kameralinse umfasst, wobei die Kamera ein Kameraperspektivitätszentrum aufweist, wobei die Kameralinse dafür ausgelegt ist, ein Bild eines Abschnitts der Oberfläche auf der lichtempfindlichen Matrix zu bilden, wobei die lichtempfindliche Matrix eine Matrix von Pixeln umfasst, wobei die Matrix M Reihen und N Spalten aufweist, wobei M und N ganze Zahlen sind, wobei jedes der Pixel in der Matrix von Pixeln dafür ausgelegt ist, eine von jedem der Pixel erfasste optische Energie in einen elektrischen Wert entsprechend einem digitalen Wert umzuwandeln, wobei der Prozessor dafür ausgelegt ist, die digitalen Werte zu empfangen, wobei der Linienscanner eine Grundlinie aufweist, wobei die Grundlinie ein geradliniges Segment zwischen dem Projektorperspektivitätszentrum und dem Kameraperspektivitätszentrum ist, wobei der Projektor eine Projektorausrichtung in Bezug auf die Grundlinie hat, wobei die Kamera eine Kameraausrichtung in Bezug auf die Grundlinie hat, wobei der Prozessor dafür ausgelegt ist, die Lichtquelle zu steuern und die digitalen elektrischen Signale von der lichtempfindlichen Matrix zu empfangen. Aspekte dieses Bereitstellungs-

schriffs wurden in Bezug auf die **Fig. 10** bis **Fig. 17** und in dem vorstehenden Text besprochen.

[0105] Ein Schritt **1810** besteht darin, eine erste Lichtlinie zu einem ersten Zeitpunkt zu erzeugen, wobei die erste Lichtlinie eine erste Lichtleistung aufweist. Ein Schritt **1815** besteht darin, die erste Lichtlinie auf die Oberfläche zu projizieren und die erste Lichtlinie als ein erstes reflektiertes Licht von der Oberfläche zu reflektieren. Der Schritt **1820** besteht darin, das erste reflektierte Licht mit der Kameralinse zu empfangen. Der Schritt **1825** besteht darin, mit der Kameralinse ein zweites Bild des zweiten reflektierten Lichts auf der lichtempfindlichen Matrix über eine zweite Integrationszeit zu bilden und, in Reaktion darauf, eine zweite optische Energie für jedes der Pixel zu erzeugen, wobei die zweite optische Energie für jedes der Pixel zumindest teilweise von einer zweiten integrierten Energie abhängt, wobei die zweite integrierte Energie gleich einem Integral der zweiten Lichtleistung über die zweite Integrationszeit ist, wobei sich die zweite integrierte Energie von der ersten integrierten Energie unterscheidet. Der Schritt **1830** besteht darin, für jedes der Pixel einen ersten digitalen Wert an den Prozessor zu senden, um eine erste $M \times N$ -Matrix von ersten digitalen Werten zu erhalten. Die Schritte **1835** bis **1855** sind die gleichen wie die Schritte **1810** bis **1830**, außer dass das Wort „zweite“ das Wort „erste“ ersetzt.

[0106] Der Schritt **1860** besteht darin, mit dem Prozessor für jede der M Reihen der ersten $M \times N$ -Matrix einen ersten digitalen Höchstwert und einen ersten Mittelwert zu bestimmen, wobei der erste digitale Höchstwert für die Reihe gleich einem Maximum der N ersten digitalen Werte der Reihe ist, wobei der erste Mittelwert zumindest teilweise auf wenigstens einem der N ersten digitalen Werte der Reihe basiert. Der Schritt **1865** ist der gleiche wie der Schritt **1860**, außer dass das Wort „zweite“ das Wort „erste“ ersetzt.

[0107] Der Schritt **1870** besteht darin, mit dem Prozessor einen zusammengesetzten Mittelwert für jede Reihe zu bestimmen, in der eine erste Bedingung oder eine zweite Bedingung erfüllt ist, wobei die erste Bedingung darin besteht, dass der erste digitale Höchstwert kleiner als ein Sättigungspegel ist und einen Störpegel übersteigt, wobei die zweite Bedingung darin besteht, dass der zweite digitale Höchstwert kleiner als der Sättigungspegel ist und den Störpegel übersteigt, wobei der zusammengesetzte Mittelwert zumindest teilweise auf dem ersten Mittelwert und dem zweiten Mittelwert basiert. Der Schritt **1875** besteht darin, mit dem Prozessor für jede der M Reihen mit einem zusammengesetzten Mittelwert dreidimensionale Koordinaten eines Punktes auf der Oberfläche zu berechnen, wobei die dreidimensionalen Koordinaten in dem ersten Bezugsrahmen berechnet werden, wobei die dreidimensionalen Koordinaten zumindest teilweise auf dem zusammengesetz-

ten Mittelwert, einer Länge der Grundlinie, der Projektorausrichtung und der Kameraausrichtung basieren, und Speichern der dreidimensionalen Koordinaten für jede der M Reihen mit einem zusammengesetzten Mittelwert. Alle Schritte **1805** bis **1875** sind ferner durch hier vorstehend enthaltene Figuren und Texte erläutert.

[0108] Um Punkte über einen Bereich einer Objektoberfläche zu bestimmen, kann der Scanner über die Oberfläche bewegt werden. Falls der Scanner an einem Gelenkarm-KMG wie in **Fig. 10** angebracht ist, kann der Arm bei jeder Durchführung einer Scannermessung Informationen über die Position und Ausrichtung des Linienscanners liefern. Durch Durchführung einer Matrixtransformation unter Verwendung von Verfahren, die in der Technik allgemein bekannt sind, können die 3D-Koordinaten der Objektoberfläche von dem Scanner-Bezugsrahmen zum Bezugsrahmen des Gelenkarm-KMGs transformiert werden. Ähnliche Transformationen können verwendet werden, um die Koordinaten der gescannten Oberfläche in jedem beliebigen Bezugsrahmen zu erhalten.

[0109] Der Linienscanner kann zusammen mit einem sechs-Freiheitsgrade-(6-FG)-Lasertracker wie in **Fig. 19** gezeigt verwendet werden. Ein Linienscanner **1930** umfasst einen Projektor **1935** und eine Kamera **1940**. Eine Linie aus dem Lasertracker **1910** wird an einen an dem Linienscanner **1930** angebrachten Retroreflektor gesendet. In der perspektivischen Zeichnung aus **Fig. 19** befindet sich der Retroreflektor an der Rückseite des Linienscanners **1930** und ist nicht zu sehen. Ein gewöhnlicher Lasertracker misst drei Positions-Freiheitsgrade – zum Beispiel einen Abstand und zwei Winkel in einem Kugelkoordinatensystem. Ein 6-FG-Lasertracker misst außerdem die drei Ausrichtungswinkel des Linienscanners, wodurch die von dem Scanner gemessenen 3D-Koordinaten der Objektoberfläche in den Tracker-Bezugsrahmen transformiert werden können. Lasertracker, die sechs Freiheitsgrade messen können, sind in der Technik allgemein bekannt und werden hier nicht weiter besprochen. Das gesamte System kann gegebenenfalls eine zusätzliche Energieversorgungs-/Prozessor-Box **1950** und einen externen Computer **1960** umfassen.

[0110] Der Linienscanner kann zusammen mit zwei oder mehr Kameras, die um einen bekannten Abstand voneinander getrennt sind, verwendet werden, wie bei dem System **2000** aus **Fig. 20** gezeigt ist. Eine Kamerastange **2010** umfasst eine starre Stange, an der die Kameras **2020** und **2024** montiert sind, um eine Stereosicht von beleuchteten Punkten **2044** auf einer Linienscannervorrichtung **2040** bereitzustellen. Eine optionale Kamera **2022** kann verwendet werden, um Farbinformationen bereitzustellen oder um zusätzliche Kameramessungen bereitzustellen, um die 3D-Messgenauigkeit zu verbessern. Ein Prozes-

sor **2050** kann verwendet werden, um durch die Kameras bereitgestellte digitale Bilddaten zu verarbeiten, um 3D-Koordinaten der Oberfläche **2060** zu bestimmen. Der Linienscanner umfasst einen Projektor **2052**, der eine Lichtlinie **2066** auf das Objekt projiziert, und eine Kamera **2054**, die die Lichtlinie auf einer lichtempfindlichen Matrix innerhalb der Kamera abbildet.

[0111] Ein Linienscanner, der gemäß dem oben gelehrt erfinderschen Gedanken verwendet wird, kann in einer festen Position in einer Fertigungsstraße mit zu prüfenden Teilen, die auf einem Förderband unter dem Scanner bewegt werden, vorgesehen sein.

[0112] Ein Linienscanner kann unbefestigt sein und mit der Hand über eine zu prüfende Objektoberfläche bewegt werden. In diesem Fall kann die Erfassung mehrerer aufeinanderfolgender Bilder auf vielerlei Arten erhalten werden. Natürliche Merkmale können verwendet werden, um die mehreren Bilder zu erfassen. Erfassungspunkte entweder auf dem Objekt oder abseits des Objekts können durch leuchtende Lichter (zum Beispiel LEDs) oder durch reflektierende Spots, die mit Licht beleuchtet werden, vorgesehen werden. Es können ferner Trägheits-Messvorrichtungen, wie Beschleunigungsmesser, Gyroskope, Magnetometer, GPS-Einheiten und Höhenmesser, verwendet werden, um die Überwachung der Scanner-Position und -Ausrichtung zu unterstützen.

[0113] Während die Erfindung anhand beispielhafter Ausführungsformen beschrieben wurde, wird es dem Fachmann klar sein, dass verschiedene Änderungen vorgenommen und Äquivalente durch Elemente von diesen ersetzt werden können, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen. Außerdem können viele Modifikationen vorgenommen werden, um eine besondere Situation oder ein besonderes Material an die Lehren der Erfindung anzupassen, ohne den wesentlichen Rahmen derselben zu verlassen. Daher ist es beabsichtigt, dass die Erfindung nicht auf die besondere Ausführungsform beschränkt ist, die als der beste zur Ausführung dieser Erfindung in Betracht gezogene Modus offenbart wird, sondern dass die Erfindung alle in den Rahmen der beigefügten Ansprüche fallenden Ausführungsformen einschließt. Außerdem sagt die Verwendung der Begriffe erste(r/s), zweite(r/s) usw. nichts über die Reihenfolge oder Bedeutung aus, die Begriffe erste(r/s), zweite(r/s) usw. werden vielmehr dazu verwendet, ein Element von einem anderen Element zu unterscheiden. Ferner bedeutet die Verwendung der Begriffe ein, eine, einer usw. keinerlei Begrenzung der Menge, sie bedeutet vielmehr das Vorliegen von mindestens einem des benannten Gegenstands.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen von dreidimensionalen Koordinaten einer Oberfläche eines Objekts, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:

Bereitstellen eines Linienscanners, der einen Prozessor, einen Projektor und eine Kamera umfasst, wobei der Linienscanner einen ersten Bezugsrahmen aufweist, wobei der Projektor eine Lichtquelle und eine Projektorlinse umfasst, wobei die Lichtquelle dafür ausgelegt ist, eine Lichtlinie im Wesentlichen gerade auszugeben, wenn sie auf eine Ebene senkrecht zu einer Ausbreitungsrichtung der Lichtlinie projiziert wird, wobei der Projektor ein Projektorperspektivitätszentrum umfasst, wobei die Kamera eine lichtempfindliche Matrix und eine Kameralinse umfasst, wobei die Kamera ein Kameraperspektivitätszentrum umfasst, wobei die Kameralinse dafür ausgelegt ist, ein Bild eines Abschnitts der Oberfläche auf der lichtempfindlichen Matrix zu bilden, wobei die lichtempfindliche Matrix eine Matrix von Pixeln umfasst, wobei die Matrix von Pixeln M Reihen und N Spalten aufweist, wobei M und N ganze Zahlen sind, wobei jedes der Pixel in der Matrix von Pixeln dafür ausgelegt ist, eine von jedem der Pixel erfasste optische Energie entsprechend einem digitalen Wert in einen elektrischen Wert umzuwandeln, wobei der Prozessor dafür ausgelegt ist, die digitalen Werte zu empfangen, wobei der Linienscanner eine Grundlinie aufweist, wobei die Grundlinie ein geradliniges Segment zwischen dem Projektorperspektivitätszentrum und dem Kameraperspektivitätszentrum ist, wobei der Projektor eine Projektorausrichtung in Bezug auf die Grundlinie hat, wobei die Kamera eine Kameraausrichtung in Bezug auf die Grundlinie hat, wobei der Prozessor dafür ausgelegt ist, die Lichtquelle zu steuern und die digitalen Werte zu empfangen;

Erzeugen einer ersten Lichtlinie zu einem ersten Zeitpunkt, wobei die erste Lichtlinie eine erste Lichtleistung hat;

Projizieren der ersten Lichtlinie auf die Oberfläche;

Reflektieren der ersten Lichtlinie als ein erstes reflektiertes Licht von der Oberfläche;

Empfangen des ersten reflektierten Lichts mit der Kameralinse;

Bilden eines ersten Bildes des ersten reflektierten Lichts auf der lichtempfindlichen Matrix über eine erste Integrationszeit mit der Kameralinse und, in Reaktion darauf, Erzeugen einer ersten optischen Energie für jedes der Pixel, wobei die erste optische Energie für jedes der Pixel zumindest teilweise von einer ersten integrierten Energie abhängt, wobei die erste integrierte Energie gleich einem Integral der ersten Lichtleistung über die erste Integrationszeit ist;

Senden eines ersten digitalen Wertes an den Prozessor für jedes der Pixel, um eine erste $M \times N$ -Matrix von ersten digitalen Werten zu erhalten;

Erzeugen einer zweiten Lichtlinie zu einem zweiten Zeitpunkt, wobei die zweite Lichtlinie eine zweite

Lichtleistung hat, wobei sich die zweite Lichtleistung von der ersten Lichtleistung unterscheidet;

Projizieren der zweiten Lichtlinie auf die Oberfläche;

Reflektieren der zweiten Lichtlinie als ein zweites reflektiertes Licht von der Oberfläche;

Empfangen des zweiten reflektierten Lichts mit der Kameralinse;

Bilden eines zweiten Bildes des zweiten reflektierten Lichts auf der lichtempfindlichen Matrix über eine zweite Integrationszeit mit der Kameralinse und, in Reaktion darauf, Erzeugen einer zweiten optischen Energie für jedes der Pixel, wobei die zweite optische Energie für jedes der Pixel zumindest teilweise von einer zweiten integrierten Energie abhängt, wobei die zweite integrierte Energie gleich einem Integral der zweiten Lichtleistung über die zweite Integrationszeit ist, wobei sich die zweite integrierte Energie von der ersten integrierten Energie unterscheidet;

Senden eines zweiten digitalen Wertes an den Prozessor für jedes der Pixel, um eine zweite $M \times N$ -Matrix von zweiten digitalen Werten zu erhalten;

Bestimmen eines ersten digitalen Höchstwertes und eines ersten Mittelwertes für jede der M Reihen der ersten $M \times N$ -Matrix mit dem Prozessor, wobei der erste digitale Höchstwert für die Reihe gleich einem Maximum der N ersten digitalen Werte der Reihe ist, wobei der erste Mittelwert zumindest teilweise auf wenigstens einem der N ersten digitalen Werte der Reihe basiert;

Bestimmen eines zweiten digitalen Höchstwertes und eines zweiten Mittelwertes für jede der M Reihen der zweiten $M \times N$ -Matrix mit dem Prozessor, wobei der zweite digitale Höchstwert für die Reihe gleich einem Maximum der N zweiten digitalen Werte der Reihe ist, wobei der zweite Mittelwert zumindest teilweise auf wenigstens einem der N zweiten digitalen Werte der Reihe basiert;

Bestimmen eines zusammengesetzten Mittelwertes für jede der M Reihen, in der eine erste Bedingung oder eine zweite Bedingung erfüllt ist, mit dem Prozessor, wobei die erste Bedingung darin besteht, dass der erste digitale Höchstwert kleiner als ein Sättigungspegel ist und einen Störpegel übersteigt, wobei die zweite Bedingung darin besteht, dass der zweite digitale Höchstwert kleiner als der Sättigungspegel ist und den Störpegel übersteigt, wobei der zusammengesetzte Mittelwert zumindest teilweise auf dem ersten Mittelwert und dem zweiten Mittelwert basiert;

Berechnen von dreidimensionalen Koordinaten eines Punktes auf der Oberfläche für jede der M Reihen mit einem zusammengesetzten Mittelwert mit dem Prozessor, wobei die dreidimensionalen Koordinaten in dem ersten Bezugsrahmen berechnet werden, wobei die dreidimensionalen Koordinaten zumindest teilweise auf dem zusammengesetzten Mittelwert, einer Länge der Grundlinie, der Projektorausrichtung und der Kameraausrichtung basieren; und

Speichern der dreidimensionalen Koordinaten für jede der M Reihen mit einem zusammengesetzten Mittelwert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei den Schritten des Bildens eines ersten Bildes mit der Kameralinse und des Formens eines zweiten Bildes mit der Kameralinse sich die erste Integrationszeit von der zweiten Integrationszeit unterscheidet.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei den Schritten des Erzeugens einer ersten Lichtlinie und des Bildens eines ersten Bildes mit der Kameralinse die erste Lichtleistung über die erste Integrationszeit konstant ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei den Schritten des Erzeugens einer zweiten Lichtlinie zu einem zweiten Zeitpunkt und des Bildens eines zweiten Bildes mit der Kameralinse wenigstens eine der zweiten Lichtleistung und der zweiten Integrationszeit zumindest teilweise auf den M ersten digitalen Höchstwerten basiert.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei dem Schritt des Bereitstellens eines Linienscanners die Lichtquelle eine Laserdiode oder eine superstrahlende Diode ist und die Projektorlinse eine Zylinderlinse oder eine Powell-Linse ist.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei dem Schritt des Bereitstellens eines Linienscanners der Projektor ferner ein Element mikroelektromechanischer Systeme (MEMS) umfasst.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Lichtlinie im Wesentlichen senkrecht zur Grundlinie liegt.

8. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend einen Schritt des Berechnens von dreidimensionalen Koordinaten in einem zweiten Bezugsrahmen für jede der dreidimensionalen Koordinaten in dem ersten Bezugsrahmen.

9. Verfahren nach Anspruch 8, ferner umfassend einen Schritt des Anbringens des Linienscanners an einem Ende eines Gelenkarm-Koordinatenmessgeräts (Gelenkarm-KMGs) wobei sich das Gelenkarm-KMG im zweiten Bezugsrahmen befindet, wobei das Gelenkarm-KMG eine Position und eine Ausrichtung des Linienscanners im zweiten Bezugsrahmen bestimmt.

10. Verfahren nach Anspruch 8, ferner umfassend einen Schritt des Messens einer Position und einer Ausrichtung des Linienscanners mit einem Lasertracker, wobei sich der Lasertracker im zweiten Bezugsrahmen befindet.

11. Verfahren nach Anspruch 8, ferner umfassend einen Schritt des Messens einer Position und einer Ausrichtung des Linienscanners mit zwei Kameras, wobei die zwei Kameras einen Trennabstand aufweisen, wobei sich die zwei Kameras im zweiten Bezugsrahmen befinden.

12. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei dem Schritt des Bestimmens eines ersten digitalen Höchstwertes und eines ersten Mittelwertes für jede der M Reihen der ersten M×N-Matrix mit dem Prozessor der erste Mittelwert ferner zumindest teilweise auf einem Schwerpunkt der ersten digitalen Werte der Reihe basiert.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei der Schwerpunkt auf Subpixel-Auflösung berechnet wird.

14. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei dem Schritt des Bestimmens eines ersten digitalen Höchstwertes und eines ersten Mittelwertes für jede der M Reihen der ersten M×N-Matrix mit dem Prozessor der erste Mittelwert ferner zumindest teilweise auf einem Wert basiert, der durch Anwendung der stochastischen Kurvenermittlung erhalten wurde.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei die stochastische Kurvenermittlung eine Ermittlung an einer Gaußschen Form ist.

16. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei dem Schritt des Bestimmens eines zusammengesetzten Mittelwertes mit dem Prozessor der zusammengesetzte Mittelwert als der erste Mittelwert ausgewählt wird, wenn der erste digitale Höchstwert den zweiten digitalen Höchstwert übersteigt, und als der zweite Mittelwert ausgewählt wird, wenn der zweite digitale Höchstwert den ersten digitalen Höchstwert übersteigt.

17. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei dem Schritt des Bestimmens eines zusammengesetzten Mittelwertes mit dem Prozessor der zusammengesetzte Mittelwert als ein gewichteter Durchschnitt des ersten Mittelwertes und des zweiten Mittelwertes ausgewählt wird, wobei die Gewichtung auf relativen Größen des ersten digitalen Höchstwertes und des zweiten digitalen Höchstwertes basiert.

Es folgen 24 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

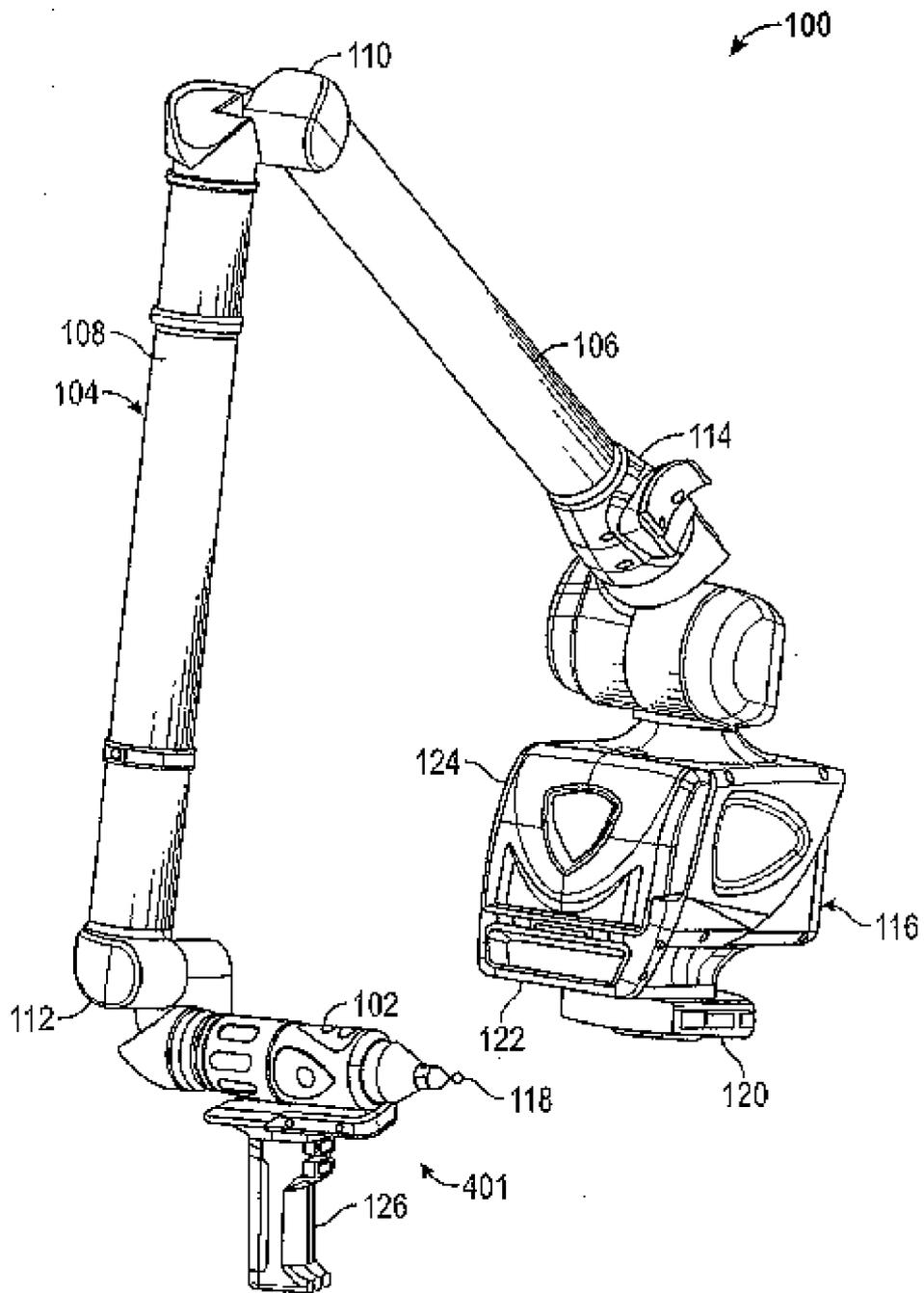


FIG. 1A

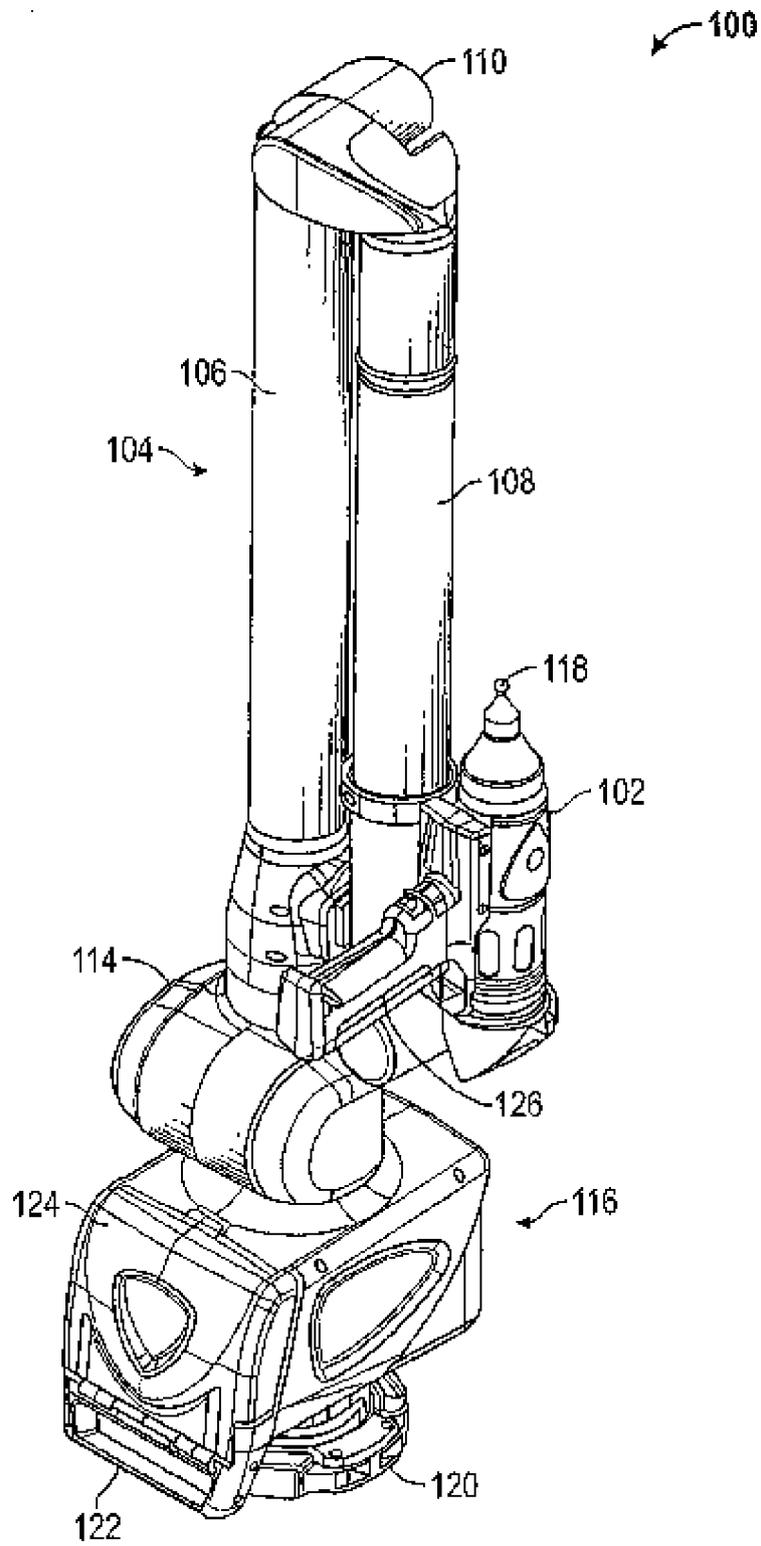


FIG. 1B

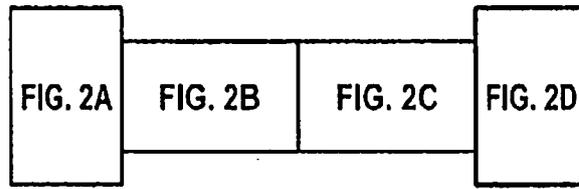


FIG. 2

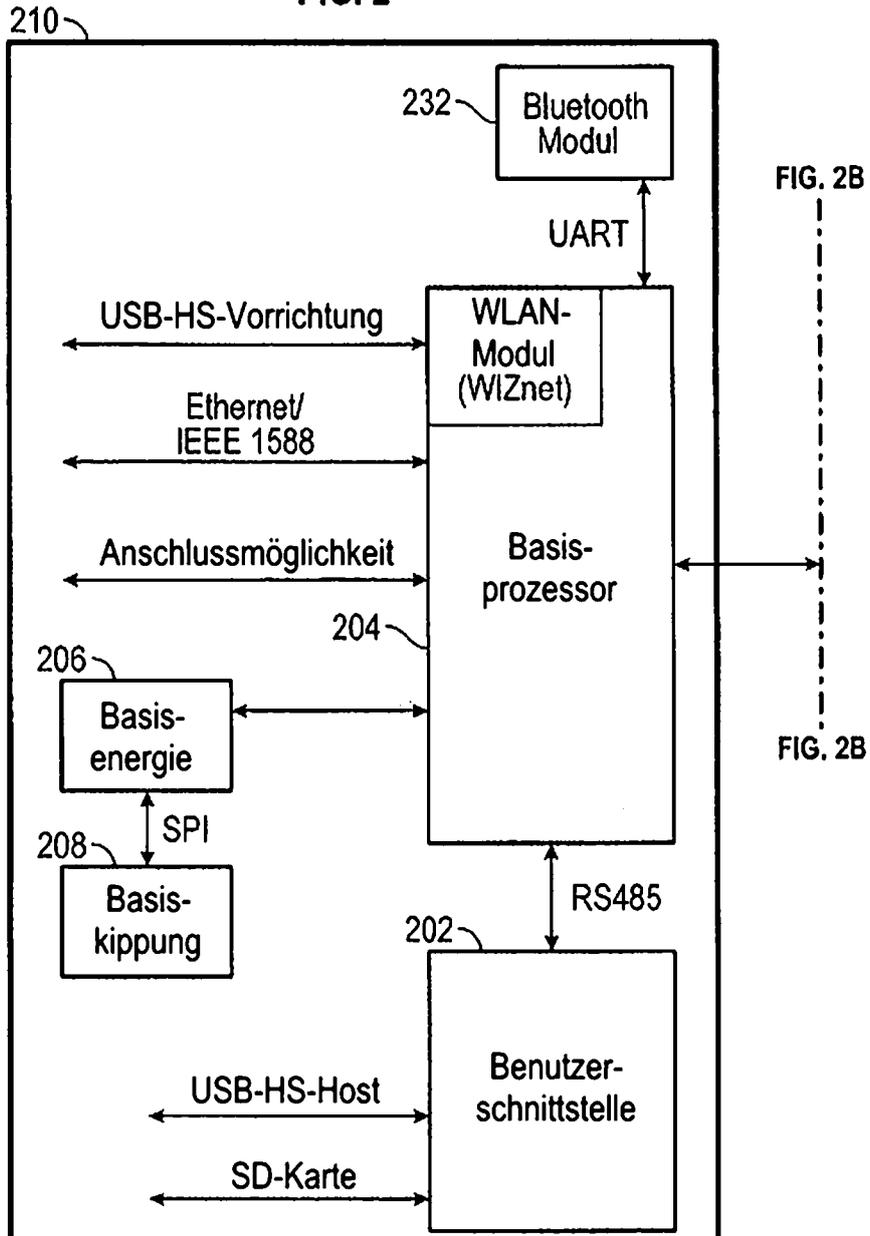


FIG. 2A

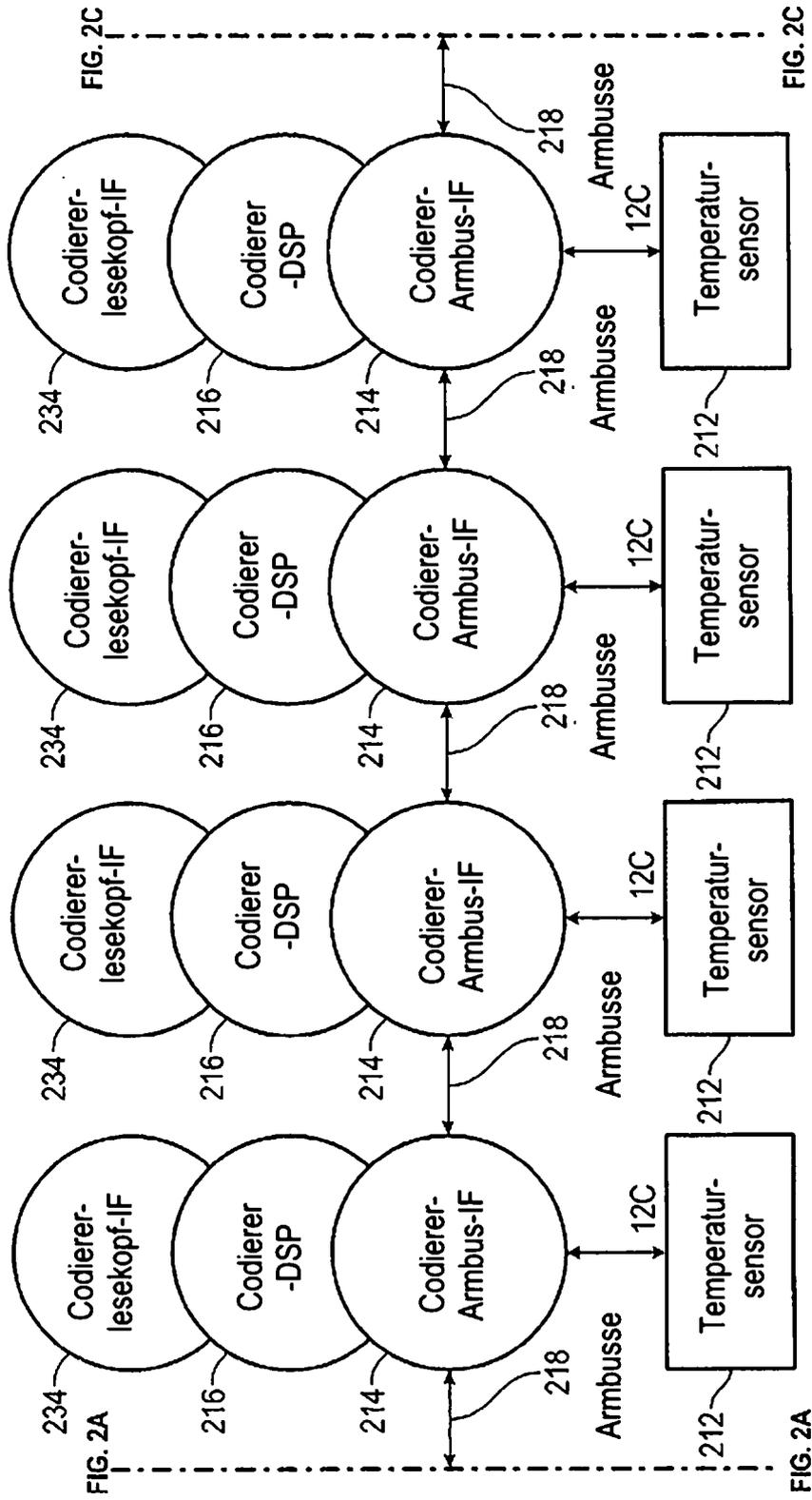


FIG. 2B

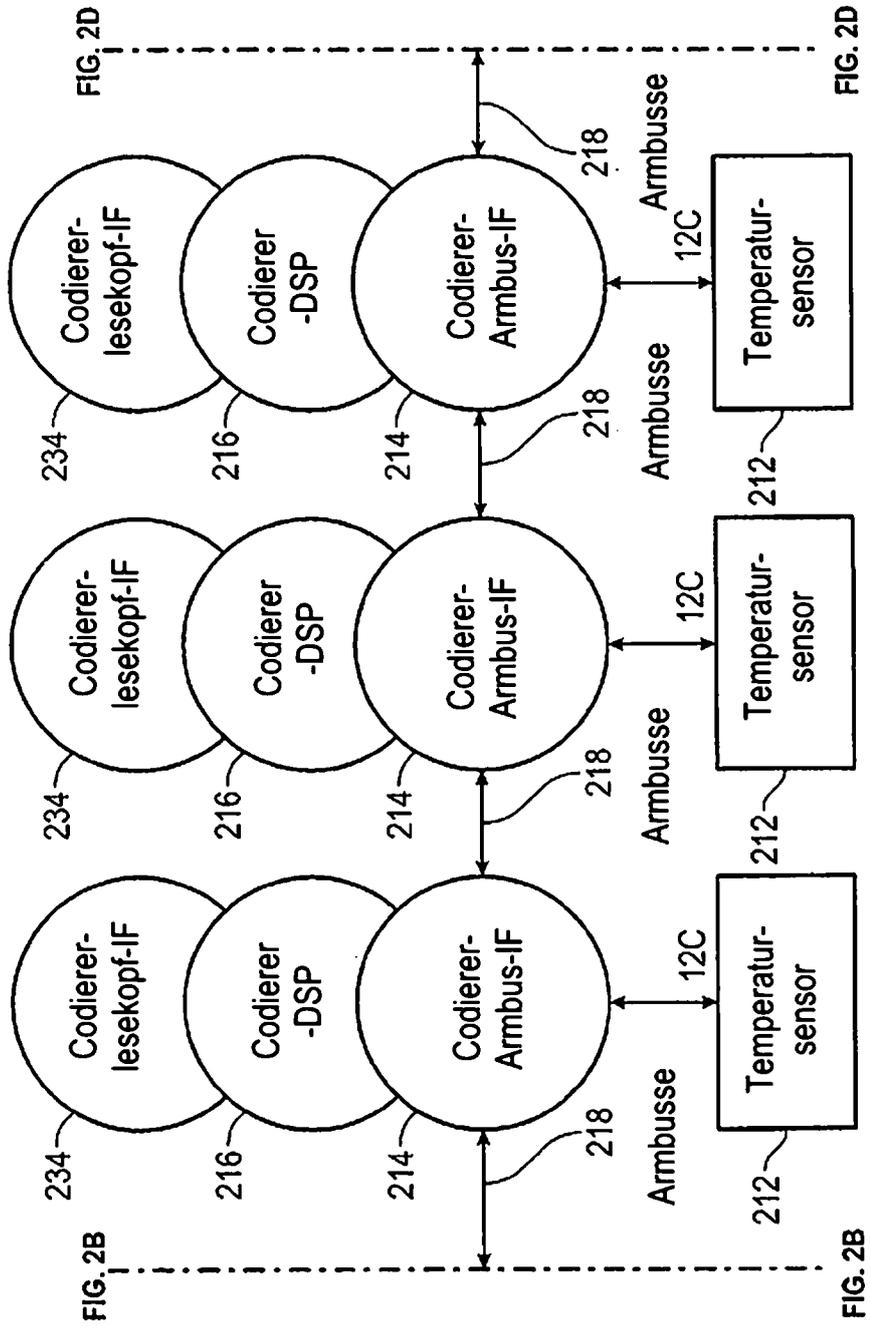


FIG. 2C

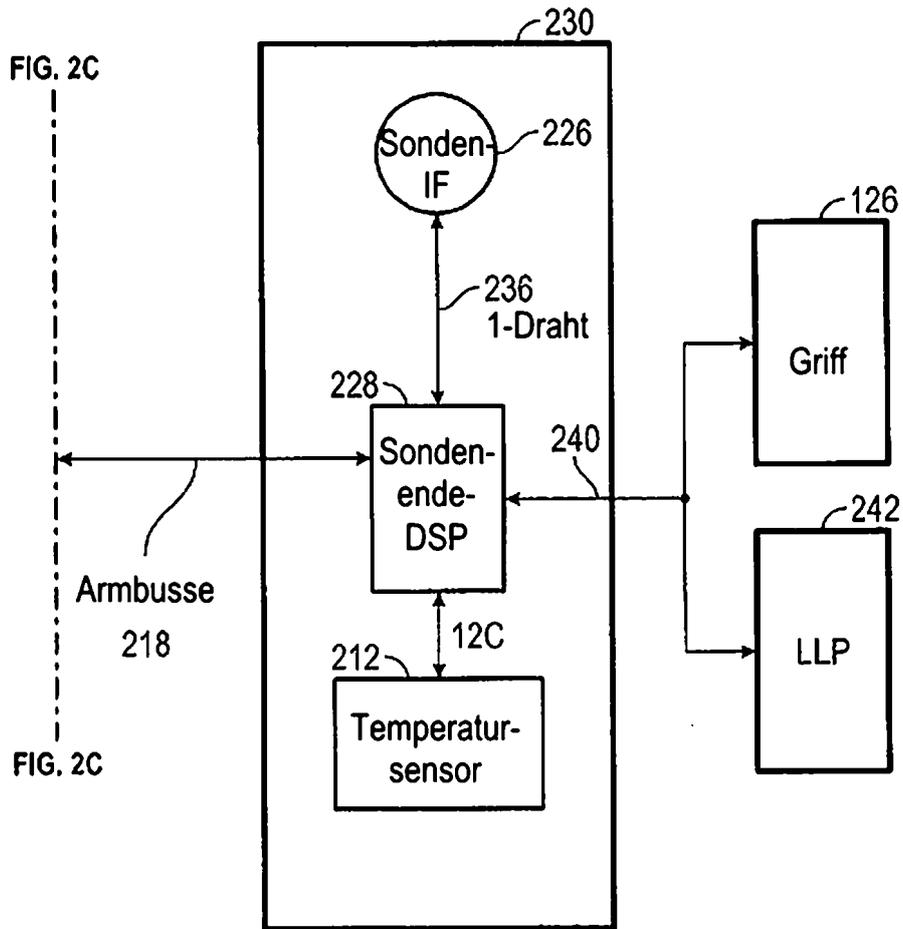
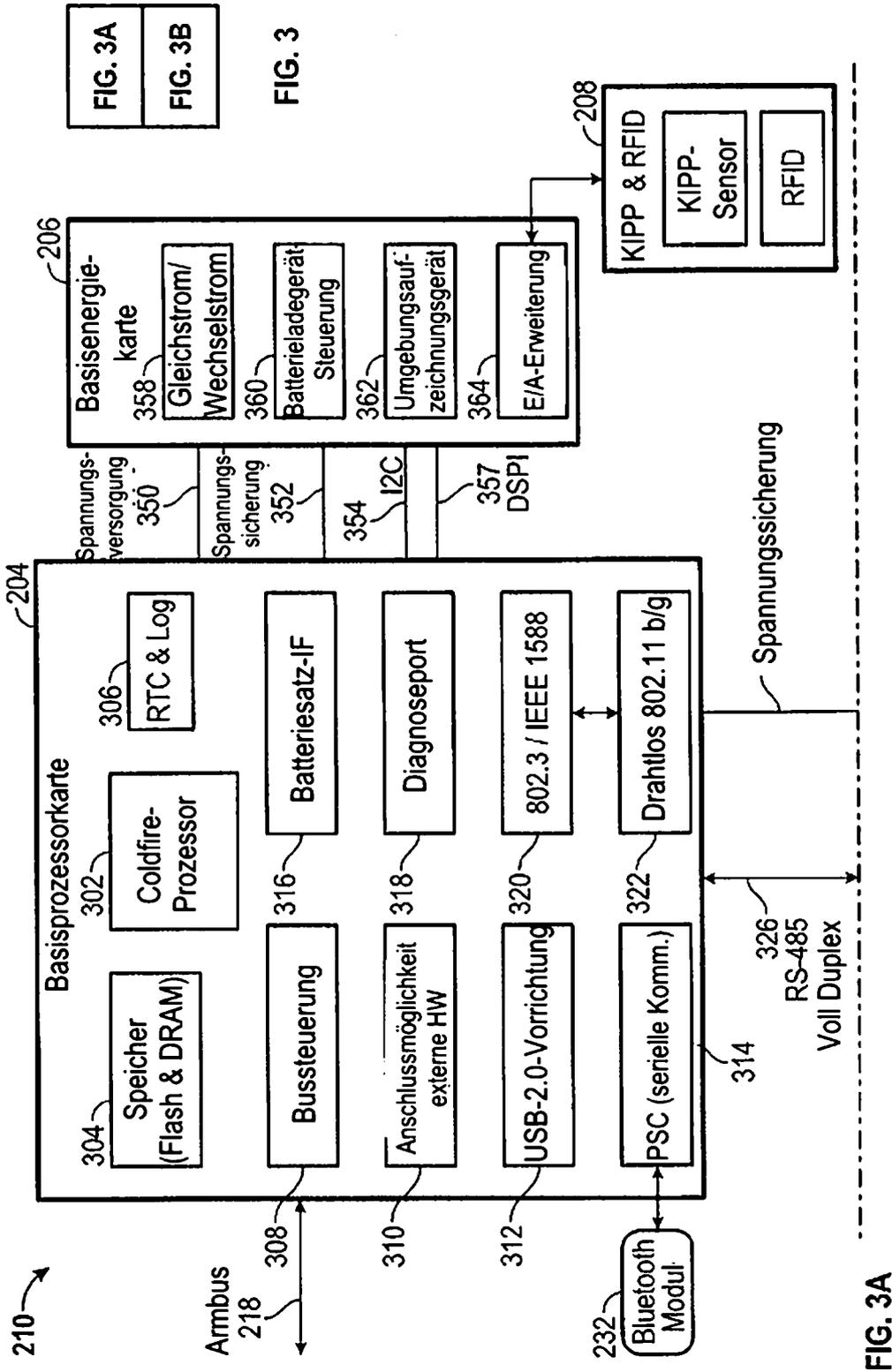


FIG. 2D



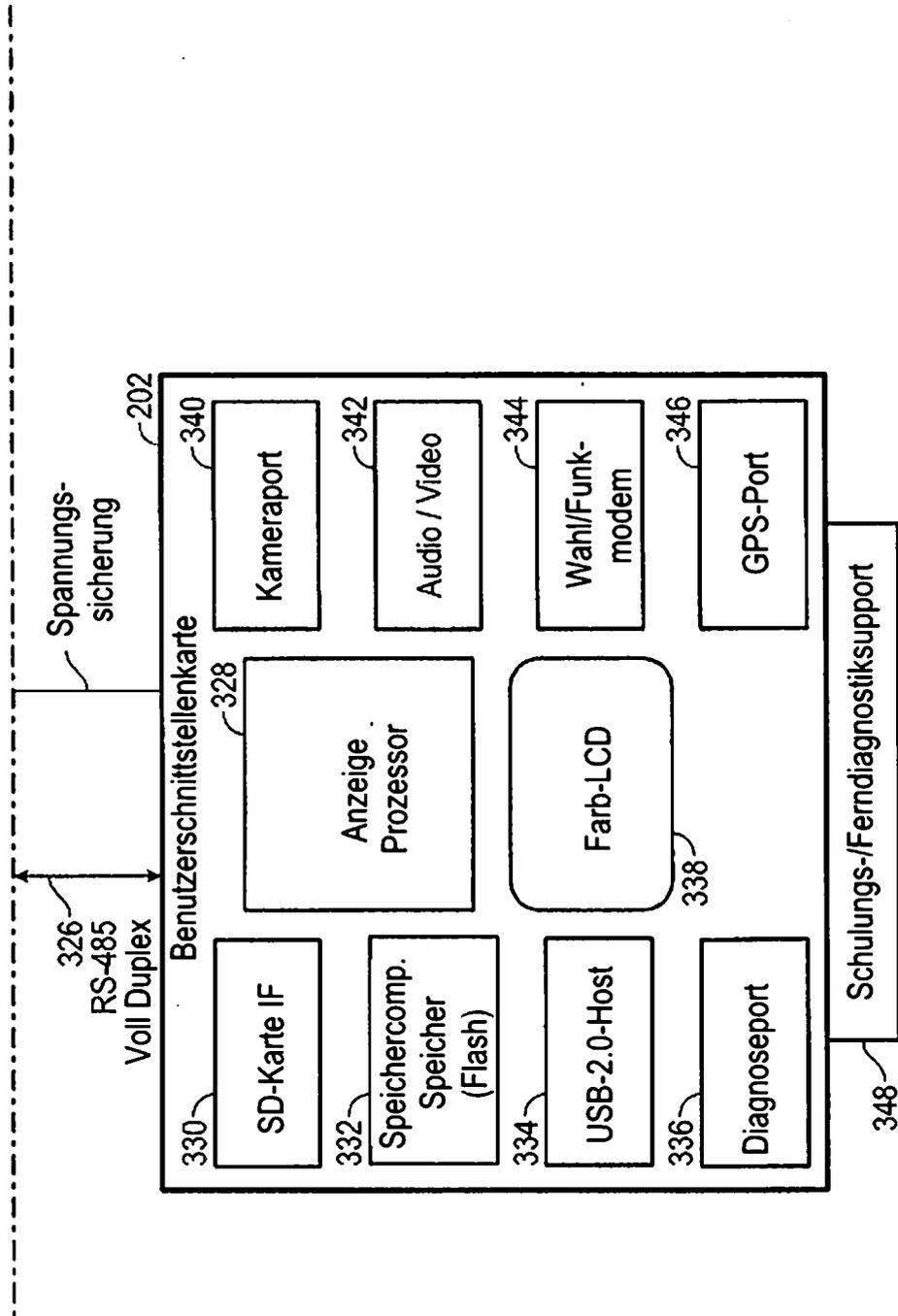


FIG. 3B

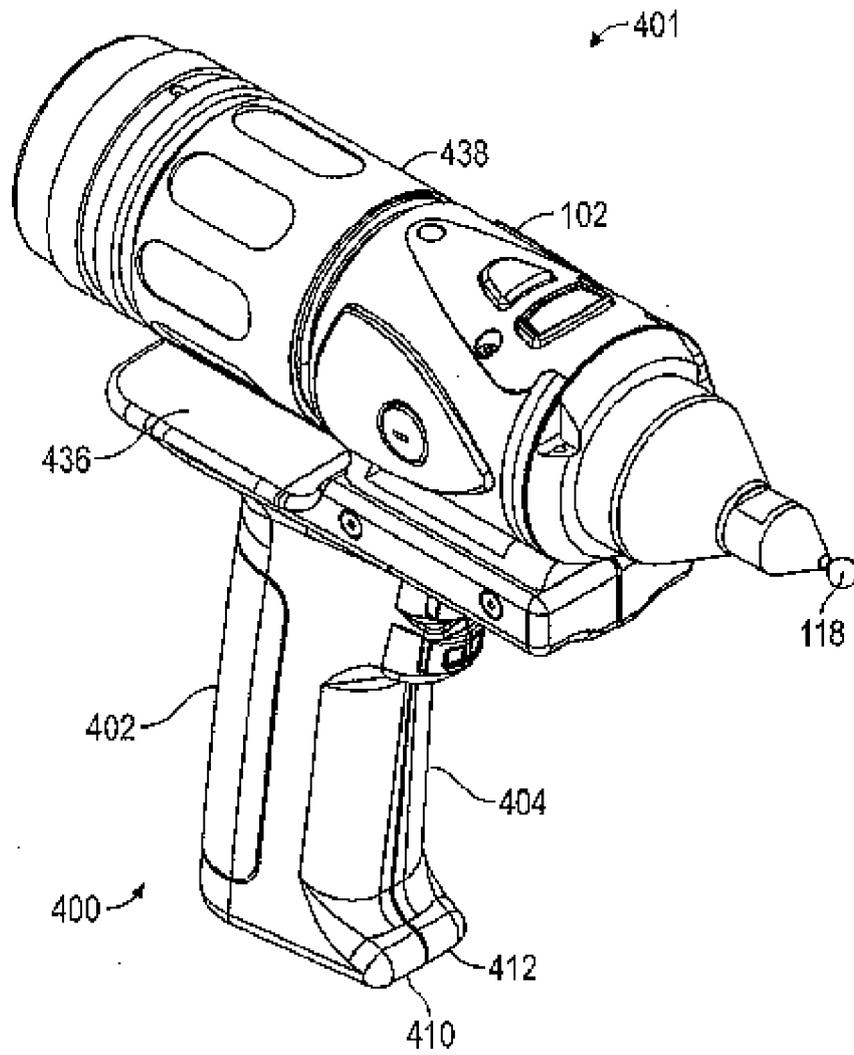


FIG. 4

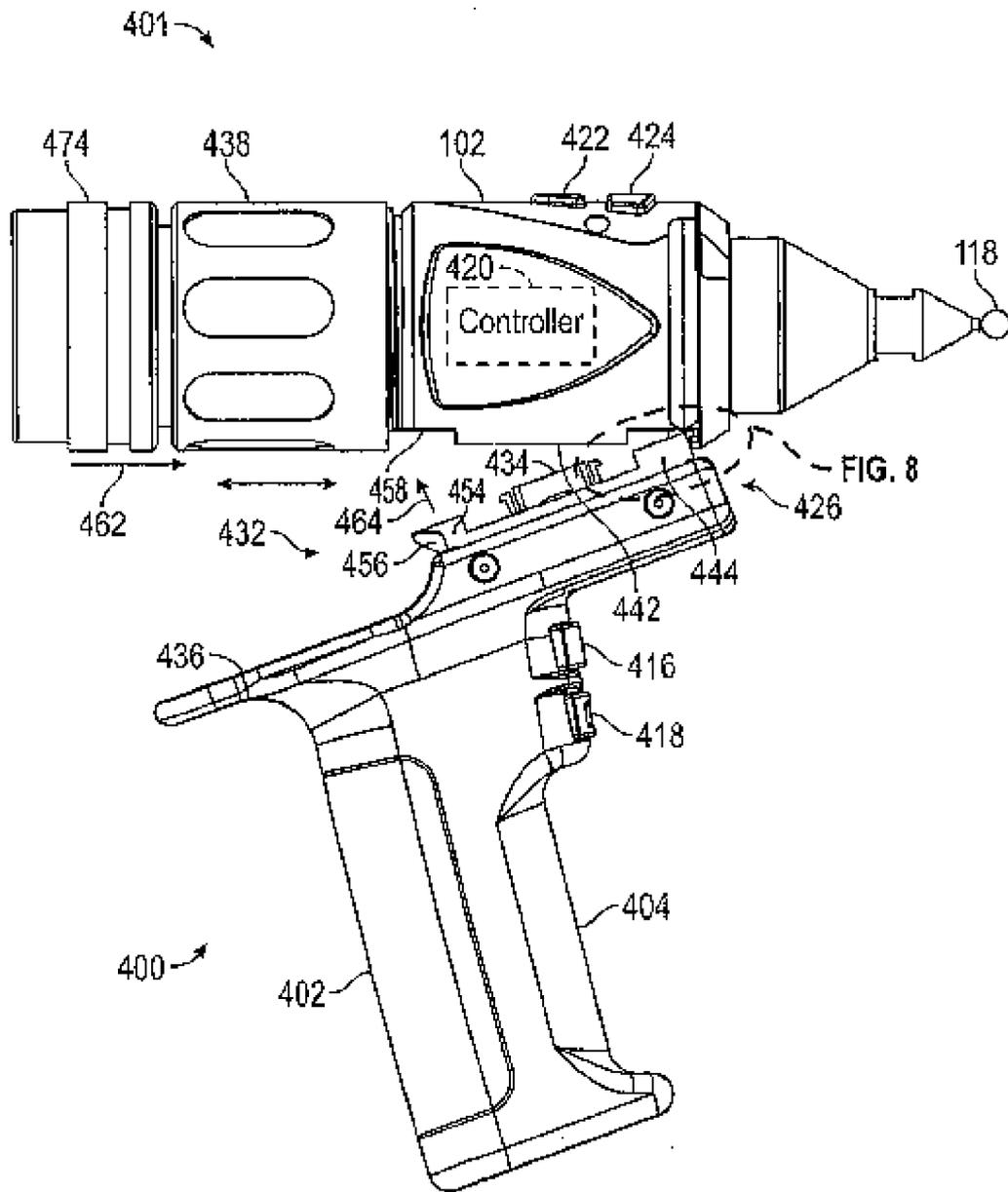


FIG. 5

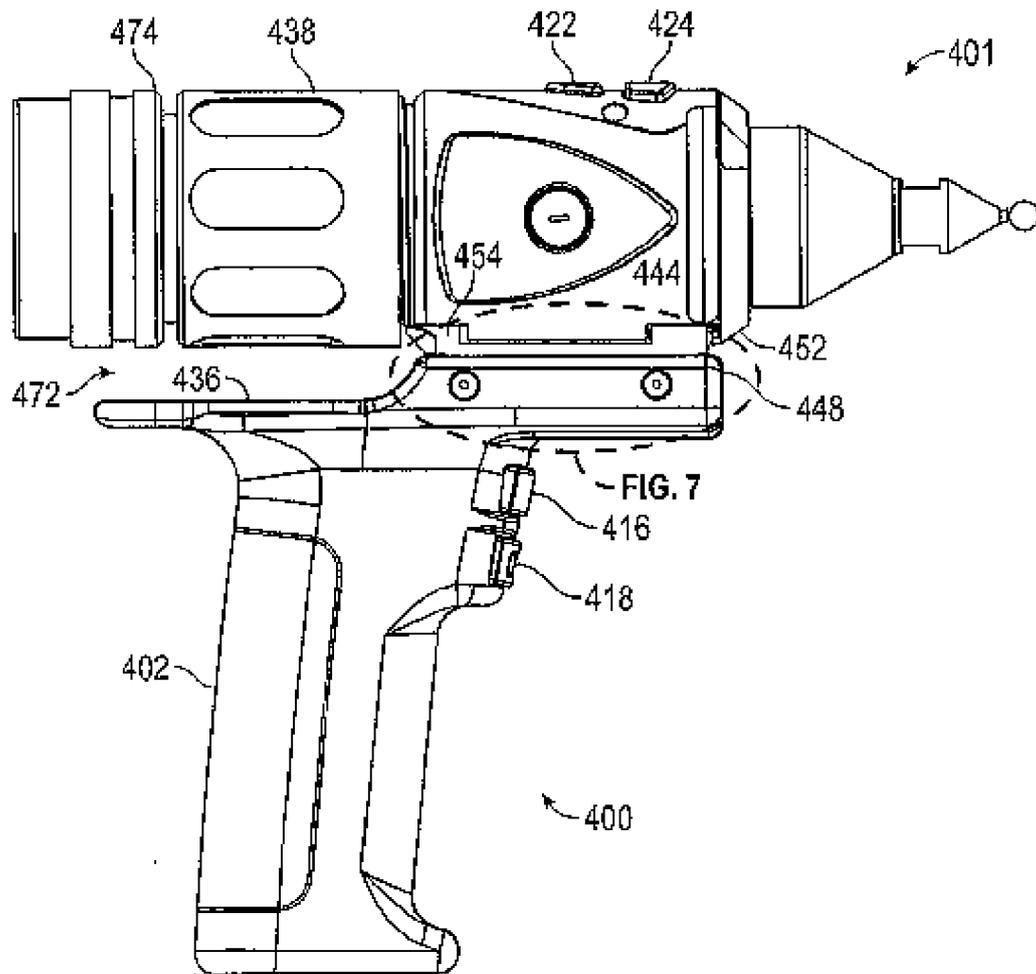


FIG. 6

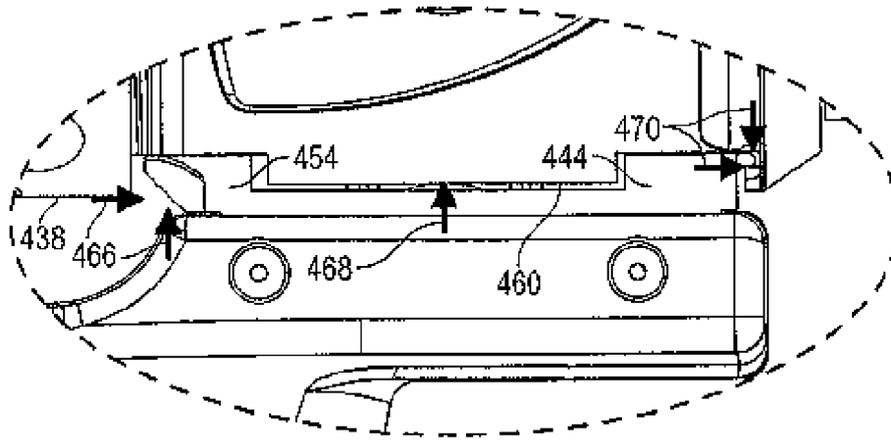


FIG. 7

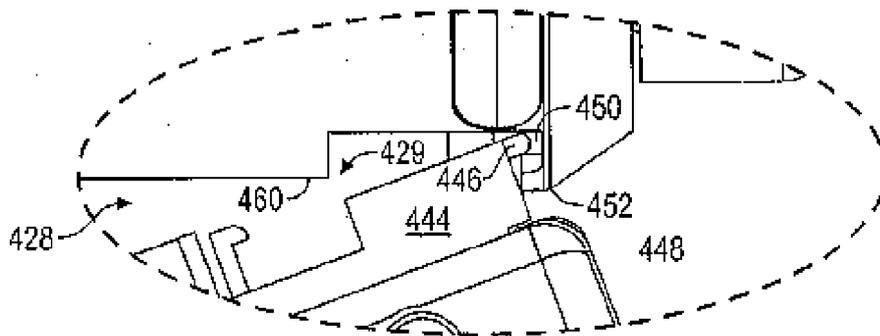


FIG. 8

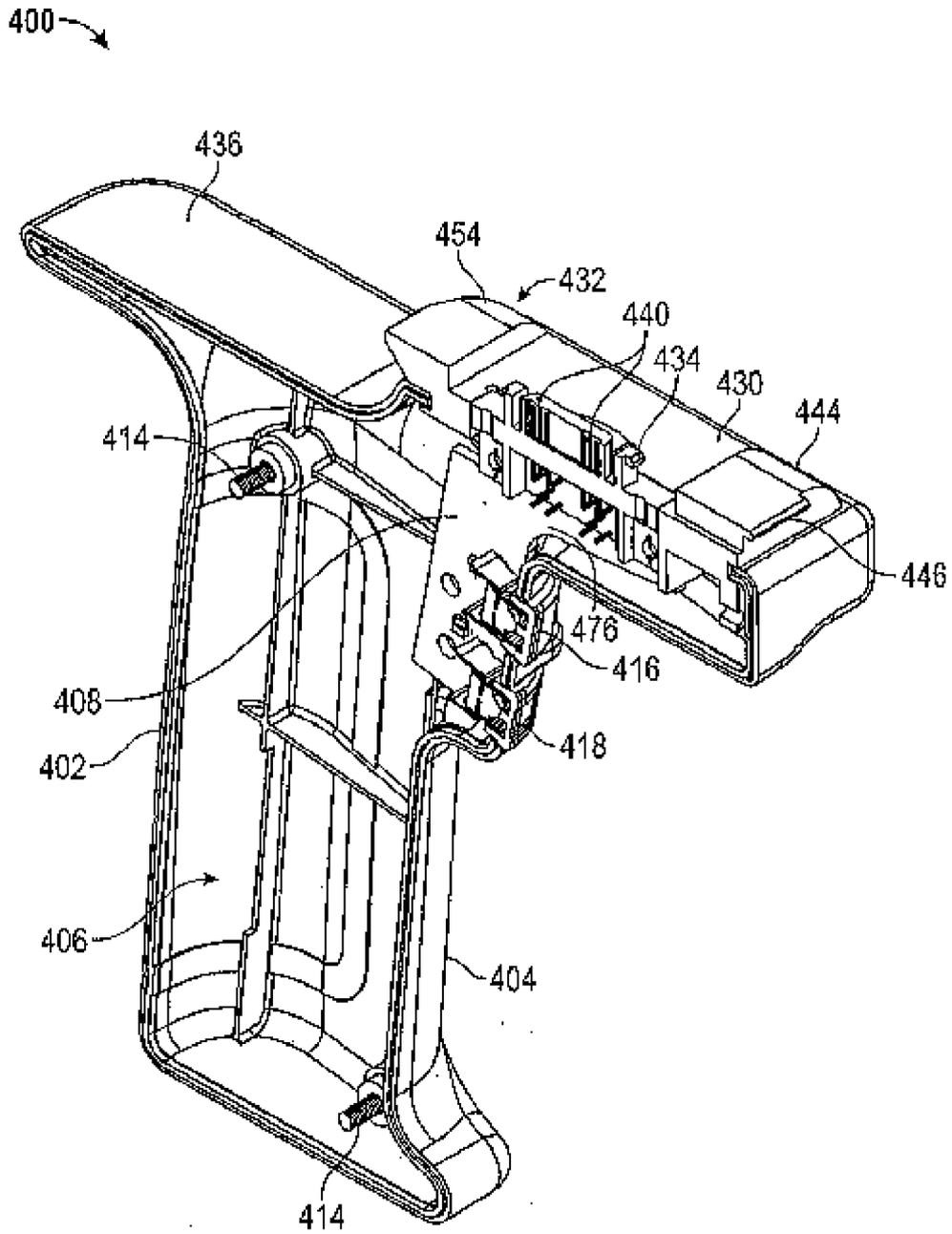


FIG. 9

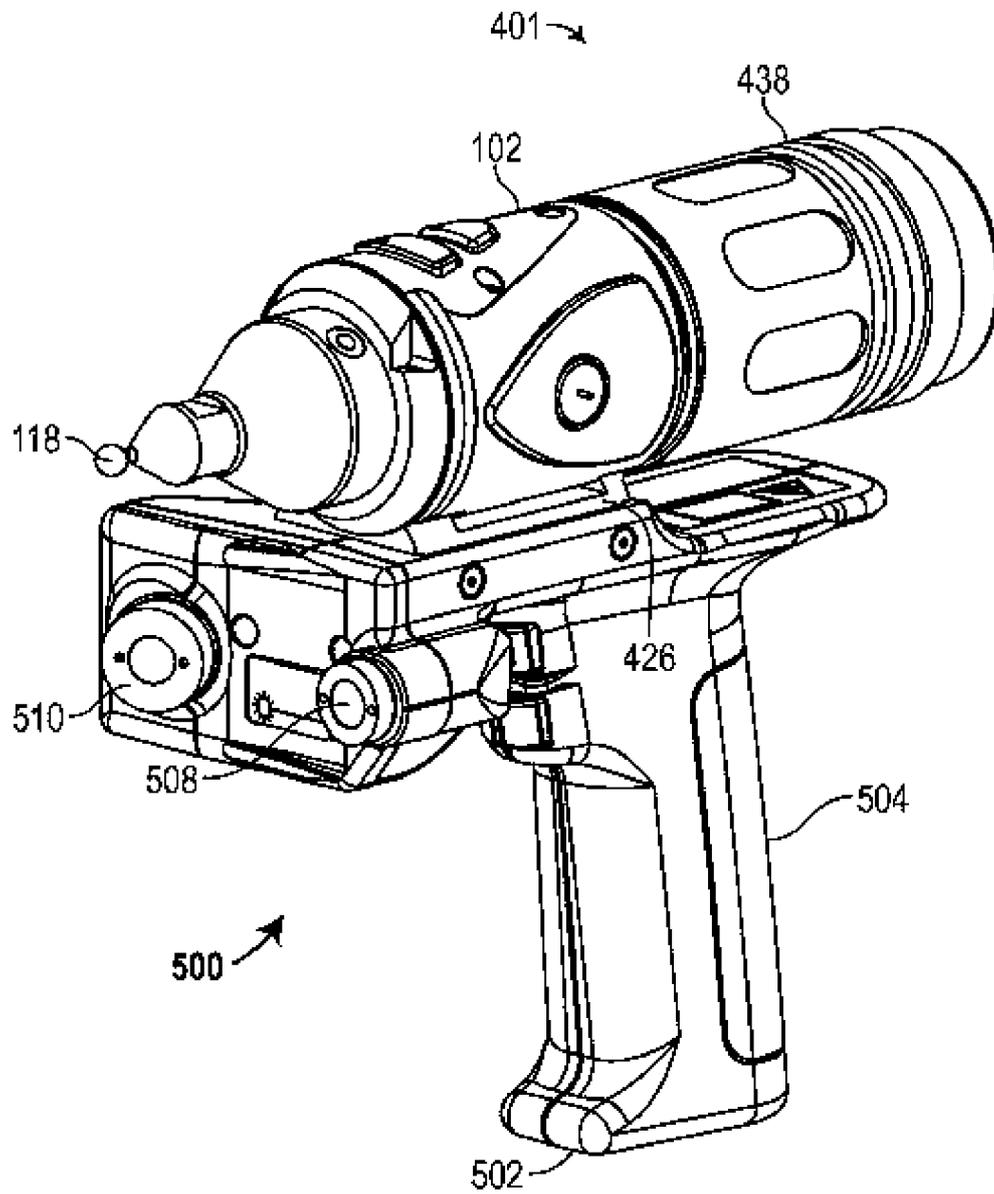


FIG. 10

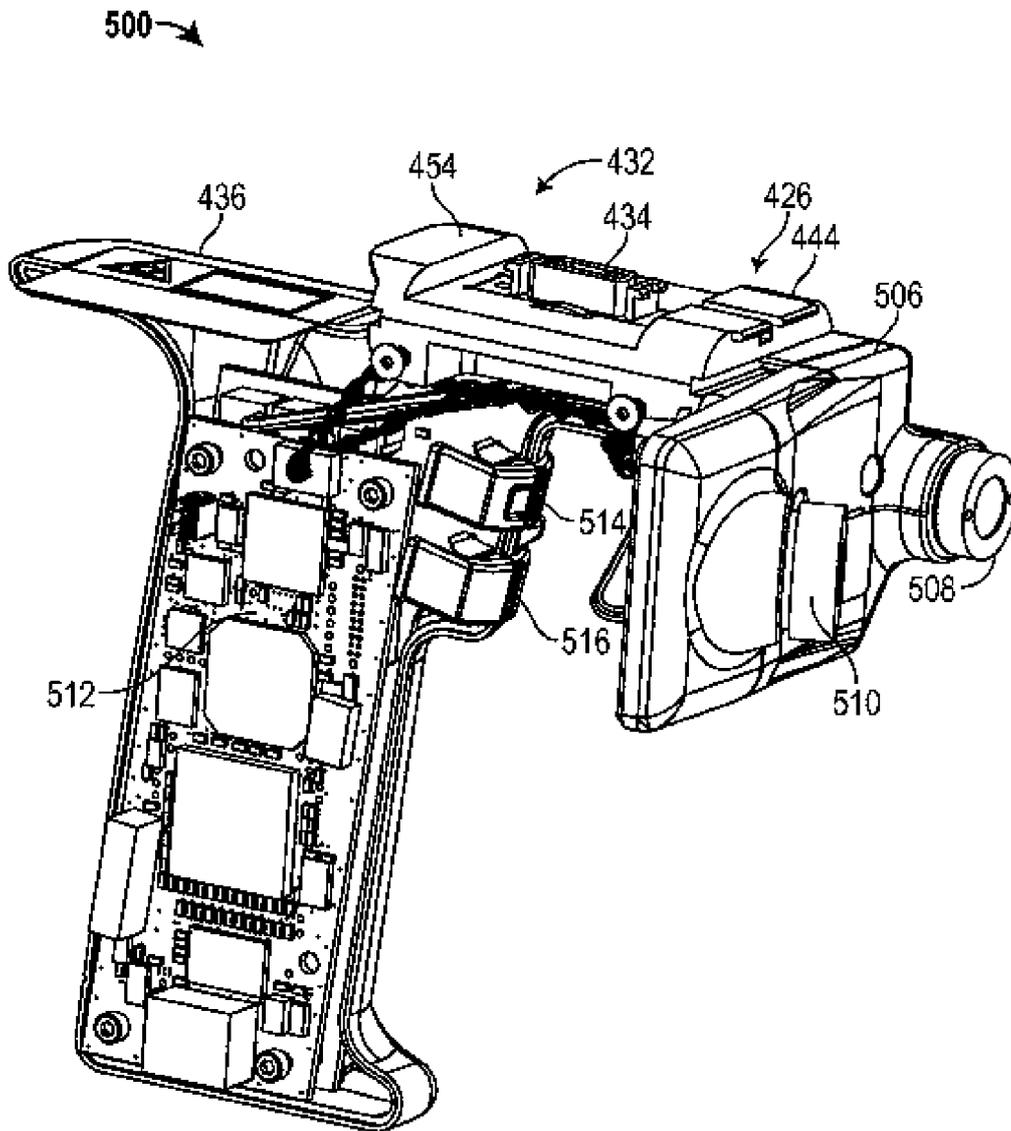


FIG. 11

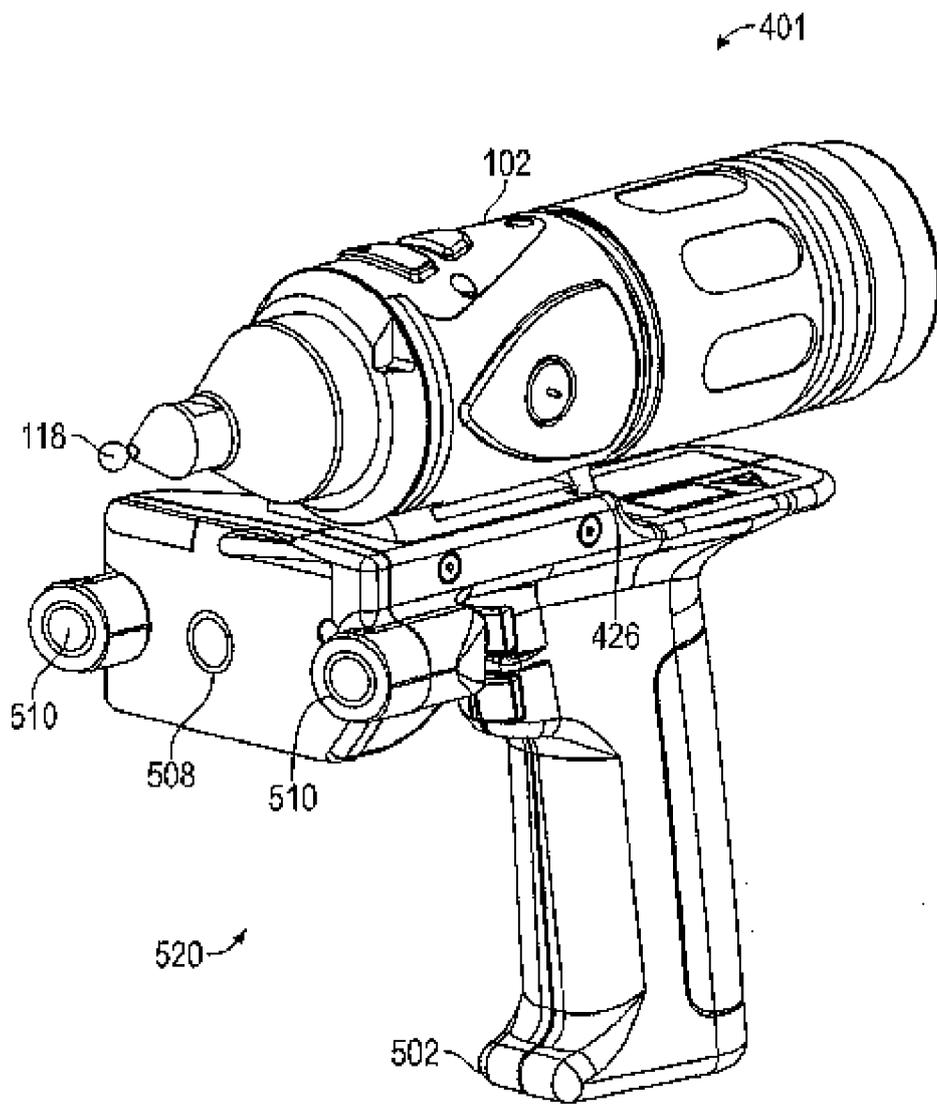


FIG. 12

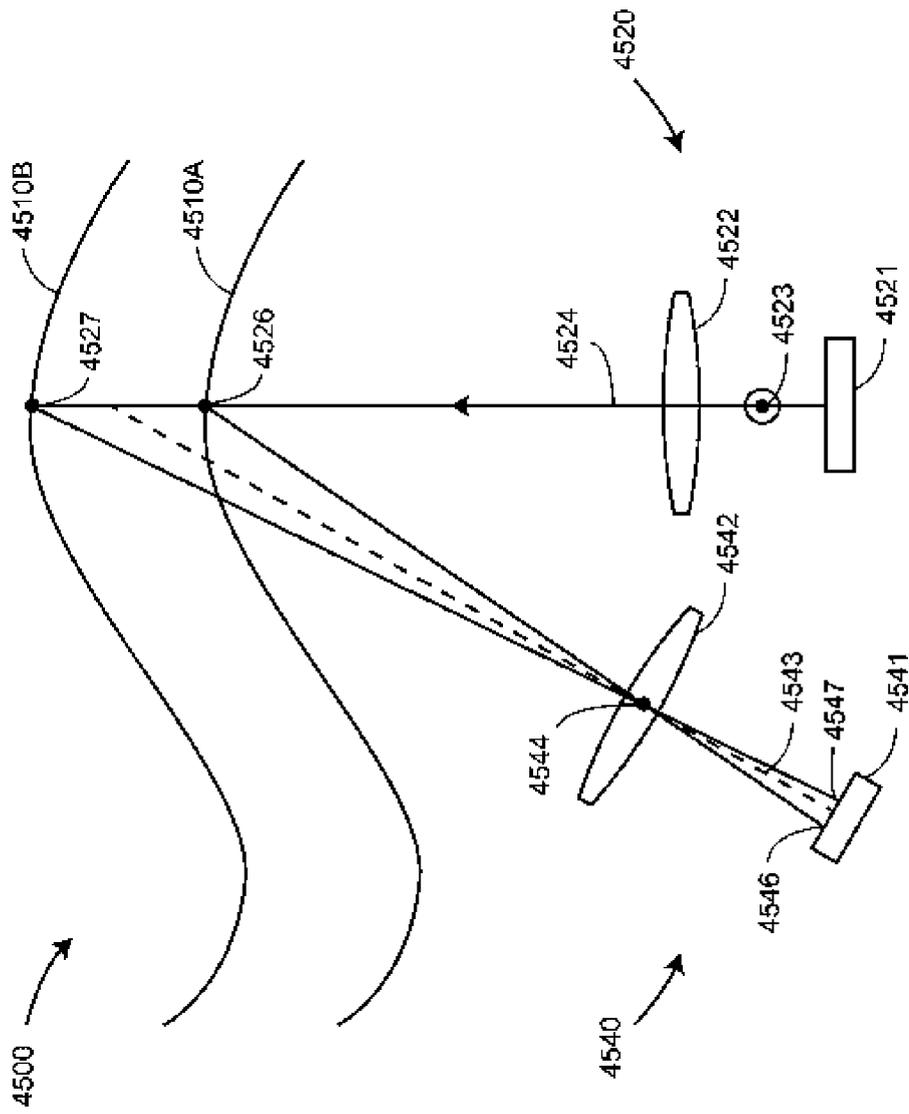


FIG. 13

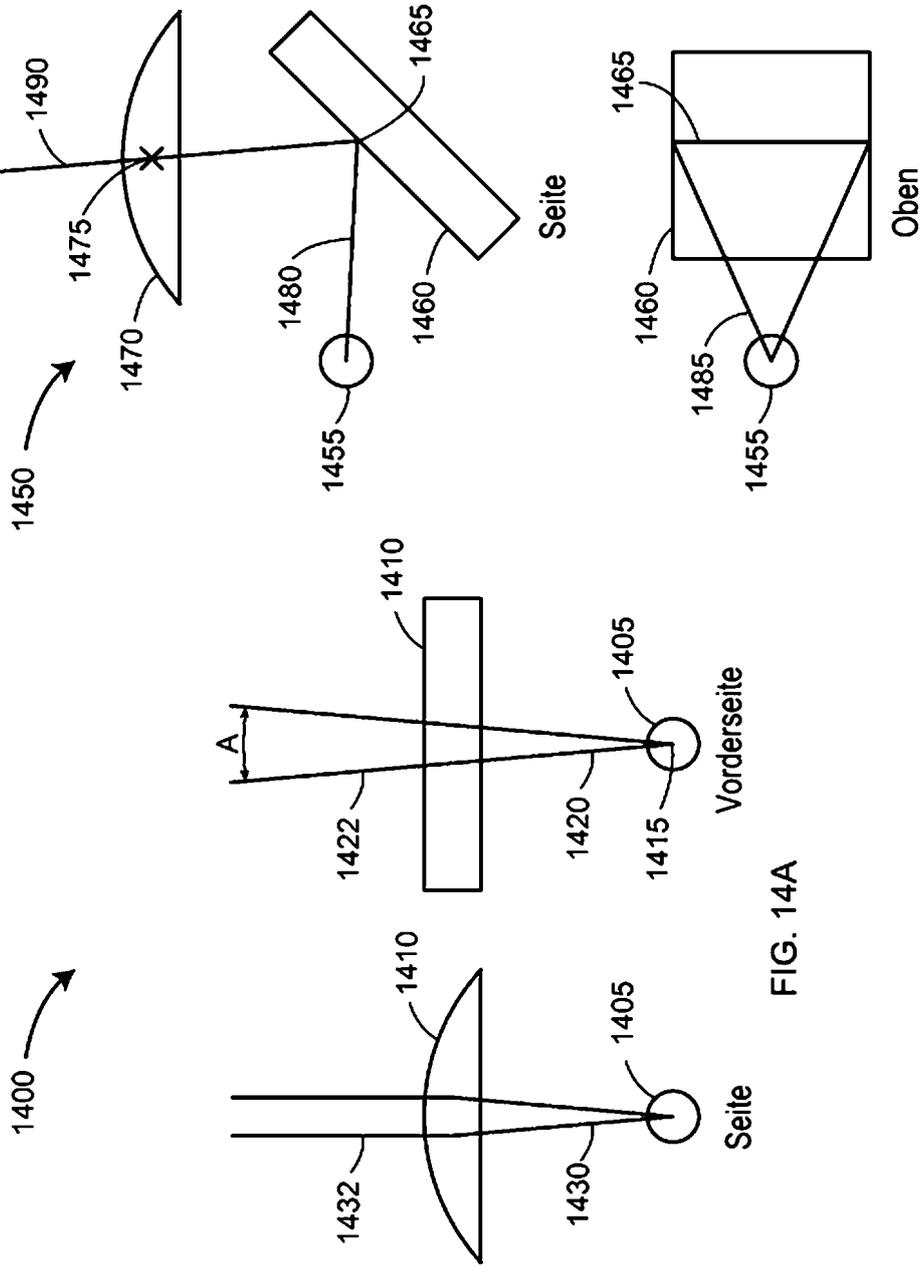


FIG. 14A

FIG. 14B

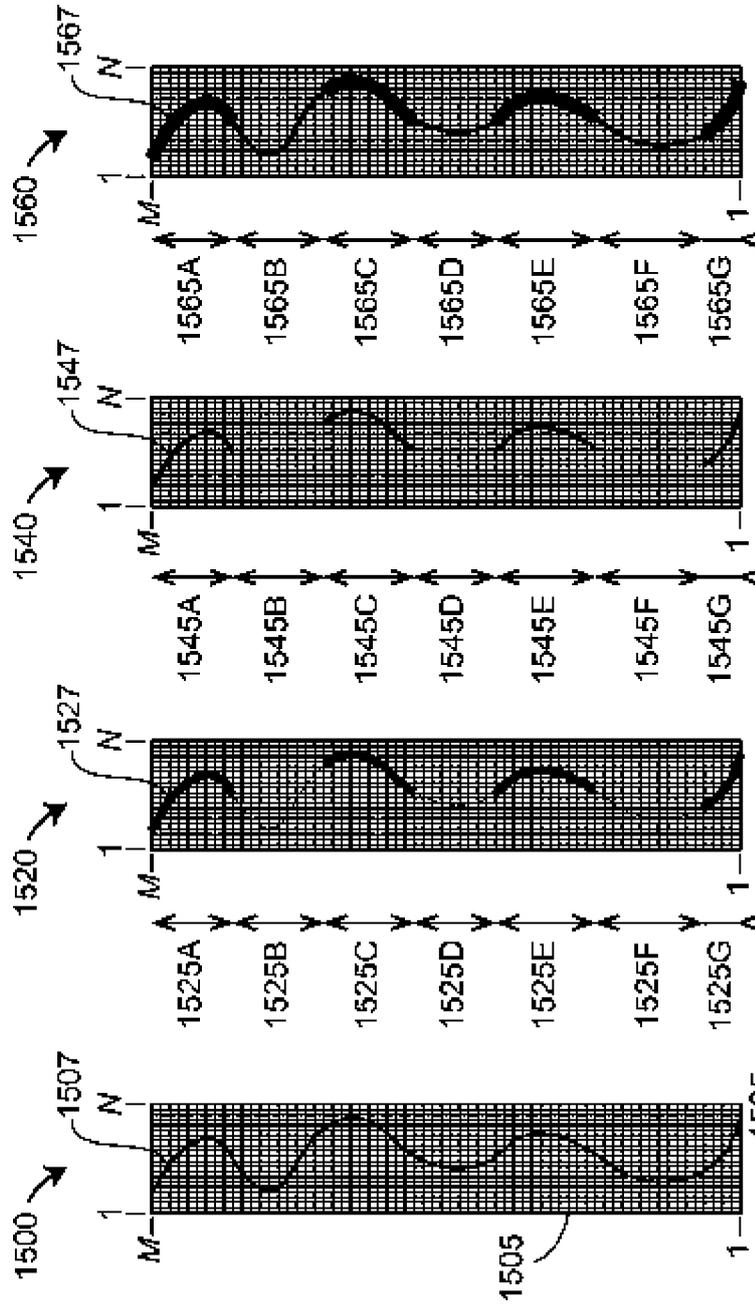


FIG. 15D

FIG. 15C

FIG. 15B

FIG. 15A

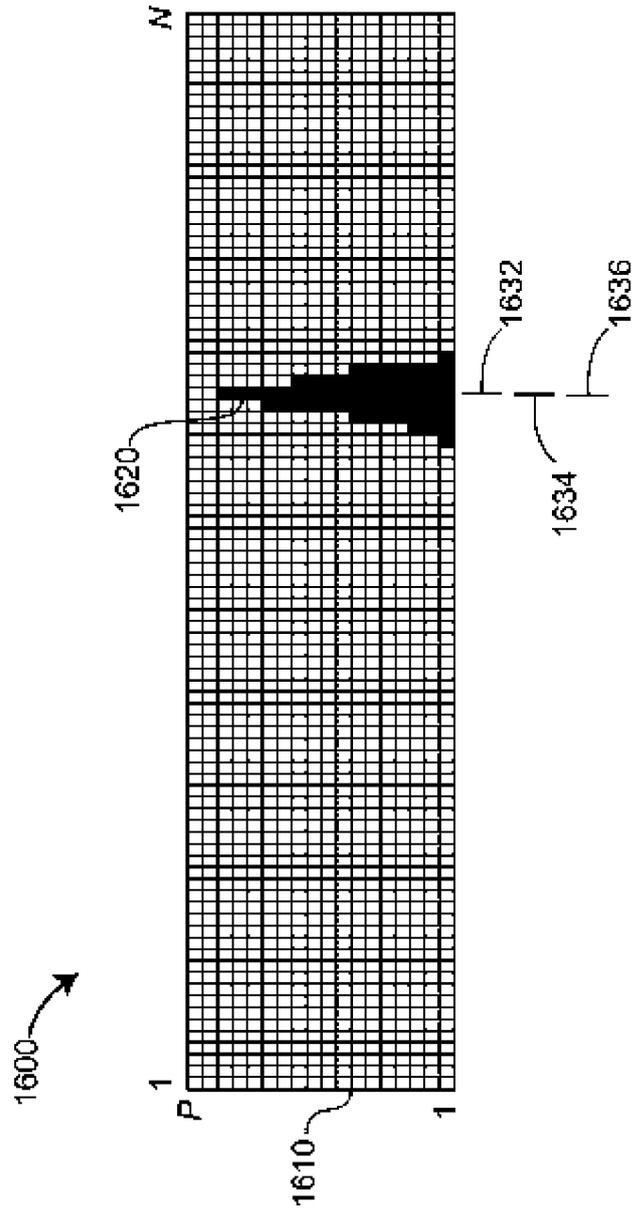
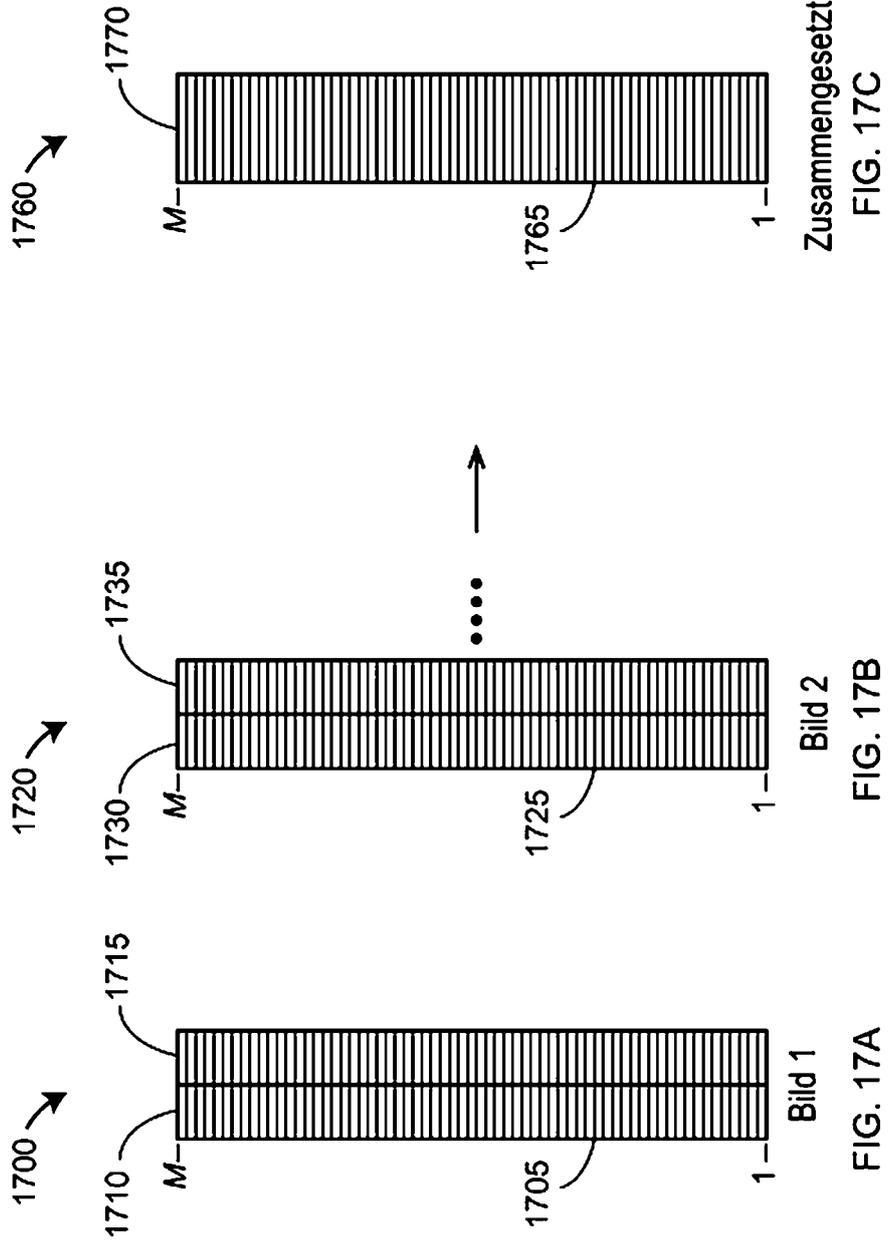


FIG. 16



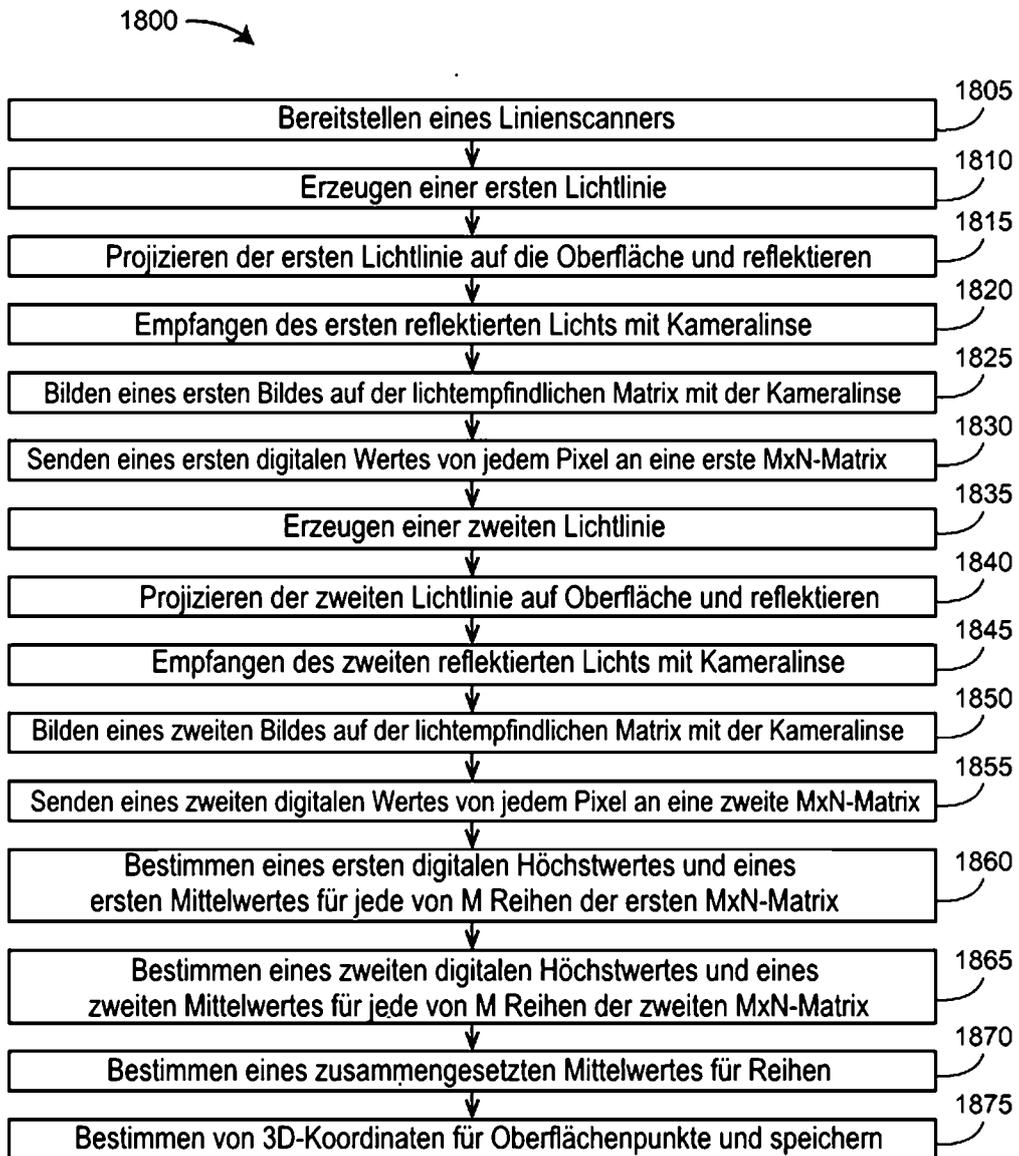
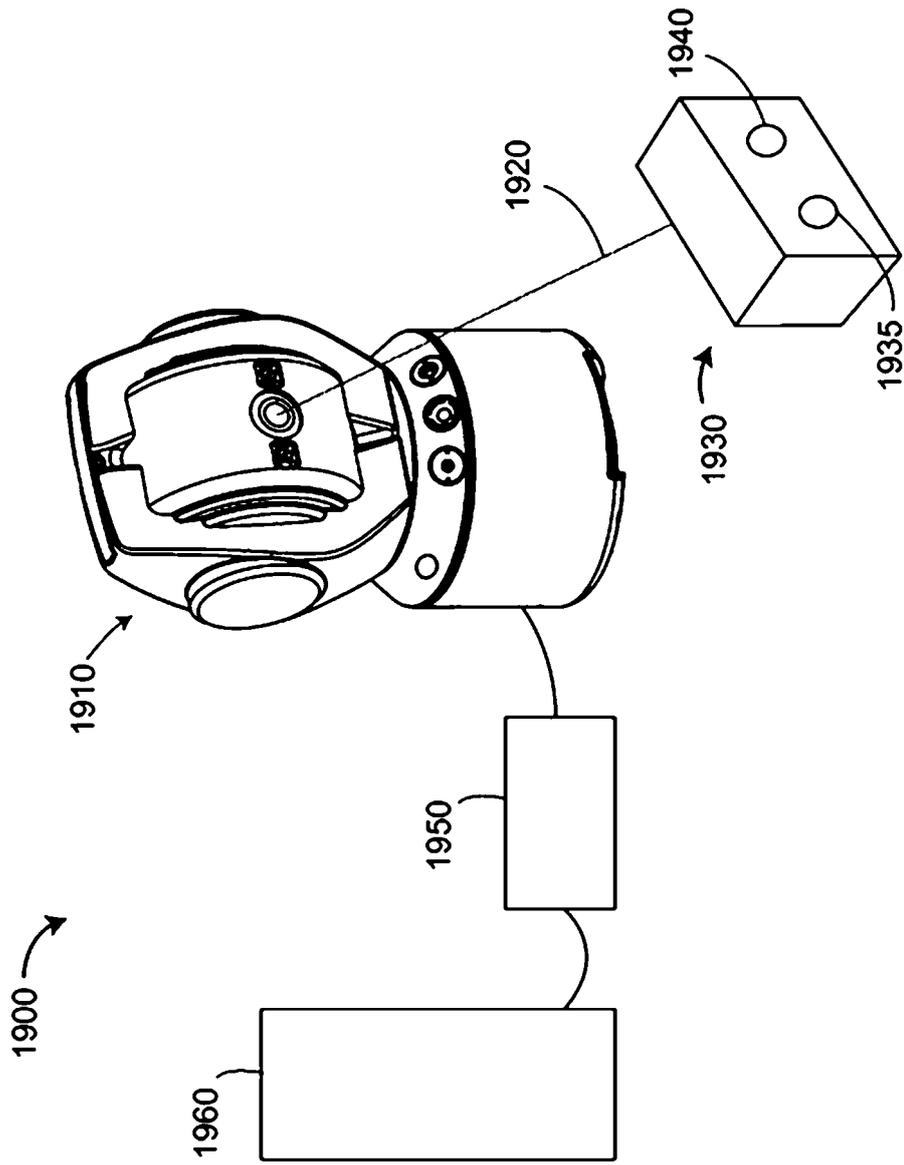


FIG. 18



FIGUR 19

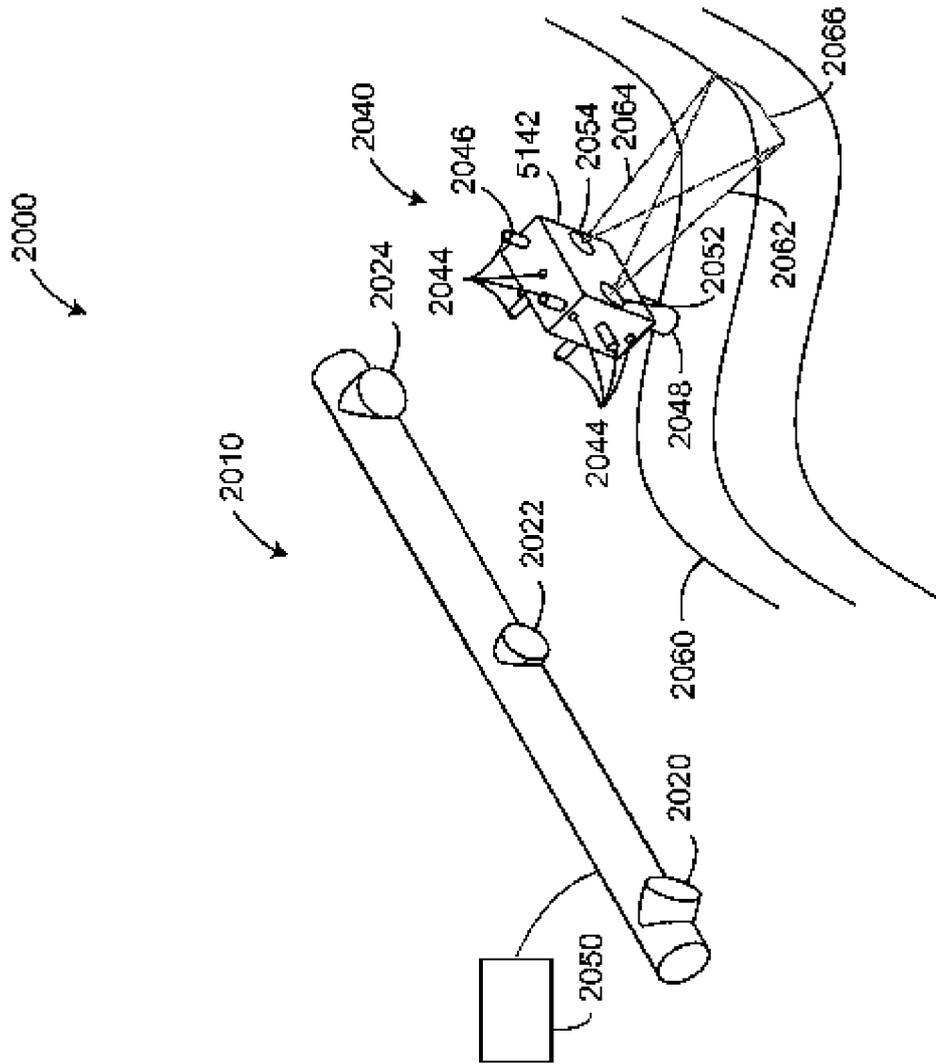


FIG. 20