



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2018/207720**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2018 002 357.5**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2018/017592**
(86) PCT-Anmeldetag: **07.05.2018**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **15.11.2018**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **16.01.2020**

(51) Int Cl.: **G01B 11/00 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:
2017-092144 08.05.2017 JP

(72) Erfinder:
Fujigaki, Motoharu, Fukui-shi, Fukui, JP;
Akatsuka, Yuichi, Fukui-shi, Fukui, JP; Takata,
Daishi, Fukui-shi, Fukui, JP

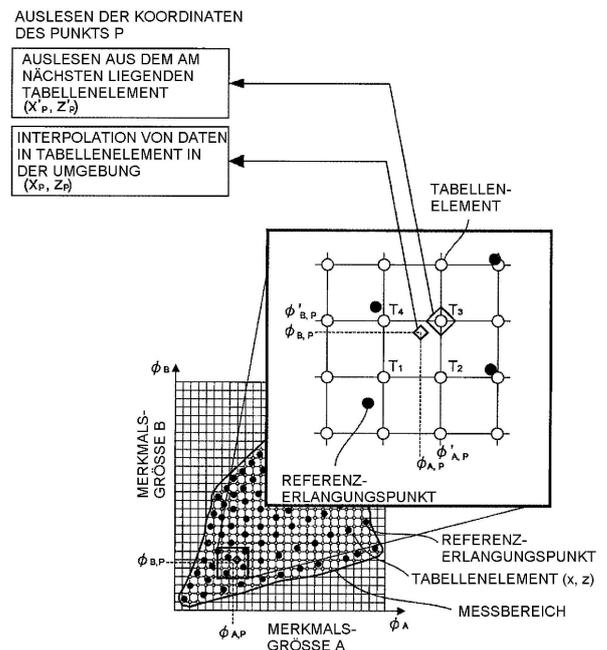
(71) Anmelder:
University of Fukui, Fukui, JP

(74) Vertreter:
Haseltine Lake Kempner LLP, 80538 München, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Dreidimensionales Messverfahren unter Verwendung von Merkmalsgrößen, und Vorrichtung, die das Verfahren verwendet**

(57) Zusammenfassung: Die Beziehung zwischen Raumkoordinaten und mehreren Merkmalsgrößen, die von wenigstens einem Muster oder einer Veränderung des Musters, das von mehreren Projektionseinheiten projiziert wurde, erlangt werden, wird im Voraus ermittelt, und die Beziehung zwischen den Merkmalsgrößen und den Raumkoordinaten wird verwendet, um aus den Merkmalsgrößen, die von einem Muster oder einer Veränderung des Musters, das von den mehreren Projektionseinheiten auf die Oberfläche eines Objekts projiziert wurde, erlangt wurden, die Raumkoordinaten der Oberflächen des Objekts zu ermitteln.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein dreidimensionales Messverfahren, das Merkmalsgrößen verwendet, und eine Vorrichtung, die das Verfahren verwendet.

Allgemeiner Stand der Technik

[0002] Seit den 1980er Jahren wurden im Inland und international verschiedene Studien zur Messung dreidimensionaler Formen unter Verwendung einer Kamera durchgeführt. Auf dem Gebiet der Robotersicht wurde ein Verfahren, das keine Kalibrierung der Kameras benötigt, vorgeschlagen. Es wurde auch ein Verfahren zur Wiederherstellung der dreidimensionalen Form aus Bildern, die in einer großen Anzahl von Richtungen aufgenommen wurden, vorgeschlagen; doch die Form glatter Oberflächen kann nicht gemessen werden und die Analyse dauert infolge der Übereinstimmung mit den Merkmalspunkten der Randbereiche oder dergleichen in den Bildern sehr lange.

[0003] In den letzten Jahren wurde für die Dekontaminierungsaktivität im Inneren eines Kernreaktors unter Verwendung eines Roboterarms oder eines sich bewegenden Roboters ein Verfahren zum Detektieren und Messen der Positionen und der Formen von Hindernissen oder Vorsprüngen mit einer hohen Genauigkeit in Echtzeit benötigt. Zudem ist es bei Katastrophenhilfsrobotern nötig, die Beziehungen zwischen menschlichen Körpern und Hindernissen mit einer hohen Genauigkeit zu messen, um die Überlebenden zu schützen.

[0004] Da durch holprige Straßen viele Schwingungen erzeugt werden, nimmt jedoch die Messgenauigkeit bei den herkömmlichen Stereosystemen aufgrund einer Verschiebung der Position einer Kamera ab. Da eine Stabilisierung des optischen Systems nach einer Kalibrierung unerlässlich ist, gestattet die herkömmliche übliche Praxis kein Zoomen oder keine Fokuseinstellung.

[0005] Im Hinblick auf ein Verfahren zur hochgenauen Messung einer dreidimensionalen Form, wenn die Form eine Ebene oder eine gekrümmte Fläche enthält, wurden verbreitet Studien hinsichtlich eines Verfahrens zur topologischen Analyse eines projizierten Streifens durchgeführt, wobei die dreidimensionale Messung unter Verwendung eines Bilds eines Streifenmusters, das auf die Oberfläche eines zu messenden Objekts projiziert wurde und aus einer Richtung aufgenommen wurde, die sich von der Richtung, in der das Streifenmuster auf die Oberfläche des zu messenden Objekts projiziert wurde, unterscheidet, durchgeführt wird.

[0006] Im Inland haben Takeda et al. eine Phasenanalysetechnik unter Verwendung einer Fourier-Transformation vorgeschlagen, und haben Yoshizawa et al. eine praktische dreidimensionale Messvorrichtung entwickelt. International treiben Song Zhang et al. in den USA eine Untersuchung der dreidimensionalen Messung mit einer ultrahohen Geschwindigkeit unter Verwendung einer digitalen Mikrospiegelvorrichtung (digital micromirror device, DMD) energisch voran. Als ein jüngster Trend konzentriert sich die Aufmerksamkeit auf eine Erhöhung der Geschwindigkeit der Messung einer dreidimensionalen Form. Doch die Verwendung einer wie oben beschriebenen dreidimensionalen Messvorrichtung im Freien oder in einer Umgebung, in der es viele Schwingungen gibt, wurde kaum in Betracht gezogen.

[0007] Zudem gibt es einige wenige Untersuchungen hinsichtlich eines Kalibrierungsverfahrens zur Steigerung der Genauigkeit bei der Messung. Insbesondere wurde im Inland oder international außer durch die Erfinder der vorliegenden Erfindung keine dreidimensionale Messtechnik, bei der keinerlei systematischer Fehler eingebracht wird, vorgeschlagen. Darüber hinaus wurde weder im Inland noch international eine Untersuchung im Hinblick auf eine dreidimensionale Messung, die durch Kalibrieren nur der Projektionseinheit möglich ist, gefunden.

[0008] Die Erfinder haben bislang eine Technik zum Umwandeln der gesamten Raumdaten in eine Tabelle (siehe PTL 1), bei der kein wie in **Fig. 1** gezeigter systematischer Fehler auftritt, vorgeschlagen, und haben eine Basistechnologie entwickelt und viele Studien zur Anwendung durchgeführt. Die Streifenprojektionstechnik bietet die Beziehung einer Eins-zu-Eins-Entsprechung zwischen den Phasen des projizierten Streifens und den dreidimensionalen Koordinaten. Durch Verwenden dieser Beziehung wird für jedes Pixel einer Kamera eine Tabelle von Phasenwerten und dreidimensionalen Koordinaten erzeugt, was das Auftreten eines systematischen Fehlers wie etwa einer Linsenverzerrung vollständig verhindert, wodurch eine dreidimensionale Messung ohne Krümmung und mit einer hohen Genauigkeit ermöglicht wird.

Literaturliste

Patentliteratur

PTL 1: Japanische Patentoffenlegungsschrift 2008-281491

PTL 2: Japanische Patentoffenlegungsschrift 2001-108422

PTL 3: Japanische Patentoffenlegungsschrift
2017-40482

PTL 4: Japanische Patentoffenlegungsschrift
2012-189479

Kurzdarstellung der Erfindung

Technisches Problem

[0009] Bei den herkömmlichen dreidimensionalen Messverfahren einschließlich des Verfahrens, das in PTL 1 offenbart ist, ist in dem Zustand, in dem die Kamera und der Projektor völlig einheitlich ausgeführt sind, eine Kalibrierung unerlässlich. Daher ist es nötig, die dreidimensionale Messeinheit, die eine Kamera umfasst, zu stabilisieren, wodurch die Größe der Vorrichtung groß wird und es daher schwierig ist, die Einheit an einer Roboterhand, einem sich bewegenden Roboter, einem automatisierten Trägerfahrzeug und dergleichen anzubringen. Zudem sollte eine Neukalibrierung vorgenommen werden, wenn der Fokus der Linse zur Aufnahme eines Bilds eingestellt wurde oder der Blickwinkel eingestellt wurde, was insofern ein Problem verursacht, als die Wartung schwierig ist.

[0010] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, das oben beschriebene Problem zu lösen und ein dreidimensionales Messverfahren, das einen Satz von drei oder mehr Merkmalsgrößen verwendet, und eine Vorrichtung, die das Verfahren verwendet, bereitzustellen.

Lösung des Problems

[0011] Nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst ein Messverfahren zum Ermitteln der Raumkoordinaten der Oberfläche eines zu messenden Objekts

den Schritt des Vorbereitens von mehreren Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und des Projizieren eines Musters oder einer Veränderung des Musters von mehreren Positionen, die auf eine solche Weise angeordnet sind, dass zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einem Messbereich oder in einem Teilbereich des Messbereichs eine Beziehung einer Eins-zu-Eins-Entsprechung erreicht wird, auf die Oberfläche eines zu messenden Objekts;

den Schritt des Aufnehmens eines Bilds des Musters oder der Veränderung des Musters, das auf die Oberfläche des zu messenden Objekts projiziert wurde; und

den Schritt des Verwendens der Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den Raumkoordinaten, die vorab unter Verwendung eines Referenzobjekts ermittelt wurden, um aus den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen, die auf

der Basis des aufgenommenen Bilds erlangt wurden, die Raumkoordinaten zu ermitteln.

[0012] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform ist die Beziehung zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einer Tabelle gezeigt, so dass die Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts auf der Basis der Werte, die zur Zeit der Messung der Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts in der Tabelle gezeigt sind, ermittelt werden können.

[0013] Zudem ist bei der oben beschriebenen Ausführungsform ein Teil der Beziehung zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einer Tabelle gezeigt, so dass die Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts durch eine Interpolation unter Verwendung der Werte, die zur Zeit der Messung der Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts in der Tabelle gezeigt sind, ermittelt werden können.

[0014] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform werden die Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts aus den Sätzen von mehreren Merkmalsgrößen, die unter Verwendung mehrerer Lichtwellenlängen für die Projektion von den mehreren Positionen gleichzeitig erhalten werden, ermittelt.

[0015] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform werden die Raumkoordinaten des zu messenden Objekts durch die Projektion von den mehreren Positionen, die entlang einer Linie angeordnet sind, ermittelt.

[0016] Bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten durch Projizieren eines Musters oder einer Veränderung des Musters von mehreren Positionen auf die Oberfläche des Referenzobjekts in mehreren Intervallen unter Veränderung der Entfernungen zwischen den mehreren Positionen und dem Referenzobjekt ermittelt.

[0017] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform werden mehrere Sätze von drei oder mehr Merkmalsgrößen vorbereitet und die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten durch Projizieren eines Musters oder einer Veränderung des Musters von mehreren Positionen, die auf eine solche Weise angeordnet sind, dass zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einem Messbereich oder in einem Teilbereich des Messbereichs eine Beziehung einer Eins-zu-Eins-Entsprechung erreicht

wird, auf die Oberfläche des Referenzobjekts in mehreren Intervallen unter Veränderung der Entfernungen zwischen den mehreren Positionen und dem Referenzobjekt ermittelt.

[0018] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform wird ein Streifenmuster oder eine Markierung auf der Oberfläche des Referenzobjekts fixiert.

[0019] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform werden für die Projektion von den mehreren Positionen mehrere Lichtwellenlängen verwendet.

[0020] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform sind die mehreren Positionen entlang einer Linie angeordnet.

[0021] Nach einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst eine Messvorrichtung zum Ermitteln der Raumkoordinaten der Oberfläche eines zu messenden Objekts eine Projektionseinheit, die mehrere Sätze von drei oder mehr Merkmalsgrößen aufweist und so ausgebildet ist, dass sie von mehreren Positionen, die auf eine solche Weise angeordnet sind, dass zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einem Messbereich oder in einem Teilbereich des Messbereichs eine Beziehung einer Eins-zu-Eins-Entsprechung erreicht wird, ein Muster oder eine Veränderung des Musters auf die Oberfläche eines zu messenden Objekts projiziert;
 eine Bildaufnahmeeinheit, die so ausgebildet ist, dass sie ein Bild des Musters oder der Veränderung des Musters, das auf die Oberfläche des zu messenden Objekts projiziert wurde, aufnimmt;
 eine Speichereinheit, die so ausgebildet ist, dass sie die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den Raumkoordinaten speichert; und
 eine Raumkoordinatenerlangungseinheit, die so ausgebildet ist, dass sie die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den Raumkoordinaten, die in der oben beschriebenen Speichereinheit gespeichert wurden, verwendet, um aus den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen, die auf der Basis des aufgenommenen Bilds erlangt wurden, die Raumkoordinaten zu ermitteln.

[0022] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform ist die Beziehung zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einer Tabelle gezeigt, die in der oben beschriebenen Speichereinheit gespeichert ist, so dass die Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts auf der Basis der Werte, die zur Zeit der Messung der Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts in der Tabelle gezeigt sind, ermittelt werden können.

[0023] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform ist ein Teil der Beziehung zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einer Tabelle gezeigt, die in der oben beschriebenen Speichereinheit gespeichert ist, so dass die Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts durch eine Interpolation unter Verwendung der Werte, die zur Zeit der Messung der Raumkoordinaten des zu messenden Objekts in der Tabelle gezeigt sind, ermittelt werden können.

[0024] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform werden die Sätze von mehreren Merkmalsgrößen unter Verwendung unterschiedlicher Lichtwellenlängen für die Projektion von den mehreren Positionen der oben beschriebenen Projektionseinheit gleichzeitig erhalten.

[0025] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform werden die Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts durch die Projektion von den mehreren Positionen, die entlang einer Linie angeordnet sind, ermittelt.

[0026] Bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Messvorrichtung zum Ermitteln der Beziehung zwischen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten so ausgebildet, dass sie die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten durch Projizieren eines Musters oder einer Veränderung des Musters von mehreren Positionen der Projektionseinheit in mehreren Intervallen unter Veränderung der Entfernungen zwischen der Projektionseinheit und dem Referenzobjekt auf die Oberfläche des Referenzobjekts ermittelt.

[0027] Bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten unter Verwendung einer zweiten Projektionseinheit mit dem gleichen Aufbau wie jenem der oben beschriebenen Projektionseinheit und Projizieren eines Musters oder einer Veränderung des Musters von der zweiten Projektionseinheit in mehreren Intervallen unter Veränderung der Entfernungen zwischen der zweiten Projektionseinheit und dem Referenzobjekt auf die Oberfläche des Referenzobjekts ermittelt.

[0028] Bei der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst eine Messvorrichtung mehrere Projektionseinheiten, die mehrere Sätze von drei oder mehr Merkmalsgrößen aufweisen und so ausgebildet sind, dass sie von mehreren Positionen, die auf eine solche Weise angeordnet sind, dass zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten

naten in einem Messbereich oder in einem Teilbereich des Messbereichs eine Beziehung einer Eins-zu-Eins-Entsprechung erreicht wird, ein Muster oder eine Veränderung des Musters projizieren;
 eine Veränderungseinheit, die so ausgebildet ist, dass sie die Entfernungen zwischen den mehreren Projektionseinheiten und dem Referenzobjekt verändert; und
 eine Bildaufnahmeeinheit, die so ausgebildet ist, dass sie in mehreren Intervallen unter Veränderung der Entfernungen zwischen den mehreren Projektionseinheiten und dem Referenzobjekt ein Bild des Musters oder einer Veränderung des Musters aufnimmt,
 wobei die Messvorrichtung so ausgebildet ist, dass sie die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten auf der Basis eines Bilds, das durch die Bildaufnahmeeinheit aufgenommen wurde, und der Entfernungen zwischen den mehreren Projektionseinheiten und dem Referenzobjekt ermittelt.

[0029] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform wird die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den Raumkoordinaten durch Fixieren eines Streifenmusters oder einer Markierung auf der Oberfläche des Referenzobjekts ermittelt.

[0030] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform wird die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den Raumkoordinaten durch die Eigenschaft ermittelt, dass die mehreren Positionen entlang einer Linie angeordnet sind.

[0031] Bei der oben beschriebenen Ausführungsform sind die oben beschriebenen Projektionseinheiten als einzelnes Projektionsmodul zusammengefasst und besteht die oben beschriebene Bildaufnahmeeinheit auf eine solche Weise aus mehreren Kameras, dass die mehreren Kameras in dem Projektionsmodul bereitgestellt sind

Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

[0032] Die vorliegende Erfindung kann ein dreidimensionales Messverfahren unter Verwendung von Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen, und eine Vorrichtung, die das Verfahren verwendet, bereitstellen.

Figurenliste

Fig. 1 ist ein Diagramm, das eine in PTL 1 offenbarte Technik zum Zeigen des gesamten Raums in einer Tabelle darstellt;

Fig. 2 ist ein Diagramm, das den Aufbau der Vorrichtung darstellt;

Fig. 3 ist ein Diagramm, das den Zustand darstellt, wenn die Lichtquelle **5A** eingeschaltet wurde;

Fig. 4 ist ein Diagramm, das den Zustand darstellt, wenn die Lichtquelle **5B** eingeschaltet wurde;

Fig. 5 ist ein Diagramm, das die Kalibrierungsweise (das Aufnehmen eines Bilds des auf der Referenzebene fixierten Streifenmusters) darstellt;

Fig. 6 ist ein Diagramm, das die Kalibrierungsweise (im Fall einer Projektion des Streifenmusters **8A**) darstellt;

Fig. 7 ist ein Diagramm, das die Kalibrierungsweise (im Fall einer Projektion des Streifenmusters **8B**) darstellt;

Fig. 8 ist ein Diagramm, das die Verteilung von Merkmalsgrößen φ_A darstellt;

Fig. 9 ist ein Diagramm, das die Verteilung von Merkmalsgrößen φ_B darstellt;

Fig. 10 ist ein Diagramm, das Referenzerlangungspunkte darstellt;

Fig. 11 ist ein Diagramm, das einen Vorgang zur Erzeugung einer Merkmalsgrößen-Koordinaten-Tabelle darstellt;

Fig. 12 ist ein Diagramm, das die Projektion von Merkmalsgrößen A auf ein Objekt darstellt;

Fig. 13 ist ein Diagramm, das die Projektion von Merkmalsgrößen B auf das Objekt darstellt;

Fig. 14 ist ein Diagramm, das einen Vorgang zum Auslesen von Koordinaten aus der Merkmalsgrößen-Koordinaten-Tabelle darstellt;

Fig. 15 ist ein Diagramm, das ein Verfahren zum Erlangen von drei Phasenwerten von jedem Punkt (jeder Position) in dem zu messenden Raum nach der vorliegenden Erfindung darstellt;

Fig. 16 ist ein Diagramm, das ein Beispiel darstellt, bei dem die Messvorrichtung nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in einem sich bewegenden Roboter eingerichtet ist;

Fig. 17 ist ein Diagramm, das einen Vorgang zum Lesen von dreidimensionalen Koordinaten aus der Merkmalsgrößen-Koordinaten-Tabelle darstellt;

Fig. 18 ist ein Diagramm, das einen Vorgang zum Ermitteln von Koordinaten durch eine Suche darstellt;

Fig. 19 ist ein Diagramm, das ein Beispiel für den Aufbau der Vorrichtung darstellt;

Fig. 20 ist ein Diagramm, das ein anderes Beispiel für den Aufbau der Vorrichtung darstellt;

Fig. 21 ist ein Diagramm, das noch ein anderen Beispiel für den Aufbau der Vorrichtung darstellt;

Fig. 22 ist ein Diagramm, das noch ein anderes Beispiel für den Aufbau der Vorrichtung darstellt;

Fig. 23 ist ein Diagramm, das ein anderes Beispiel für den Aufbau der Vorrichtung darstellt;

Fig. 24 ist ein Diagramm, das ein Beispiel für den Aufbau einer Versuchsvorrichtung darstellt; und

Fig. 25 ist ein Diagramm, das ein Beispiel für die Messung eines Objekts darstellt.

Beschreibung von Ausführungsformen

[0033] Nachstehend wird unter Bezugnahme auf die Zeichnungen eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben.

Beschreibung der Messprinzipien

Kalibrierung

[0034] Zunächst werden die Messprinzipien nach der vorliegenden Erfindung beschrieben. Hier werden zum Zweck der Einfachheit der Beschreibung zweidimensionale Koordinaten (x , z) unter Verwendung von zwei Merkmalsgrößen ermittelt. Tatsächlich ist eine Ausweitung auf drei Dimensionen nötig, um die Raumkoordinaten (x , y , z) in dem dreidimensionalen Raum zu ermitteln. Doch wenn die Anzahl der nachstehend beschriebenen Projektoren auf drei oder mehr eingerichtet wird, um die Anzahl der Merkmalsgrößen, die dadurch erlangt werden, auf drei oder mehr zu bringen, können dreidimensionale Raumkoordinaten durch das gleiche Verfahren wie bei den Koordinaten von zwei Dimensionen ermittelt werden.

[0035] **Fig. 2** zeigt den Aufbau der Messvorrichtung nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Eine Lichtquelle **5A** mit einem Beugungsgitterglas **4A** und eine Lichtquelle **5B** mit einem Beugungsgitterglas **4B** sind an einer Streifenprojektionseinheit **3** fixiert. Die Streifenprojektionseinheit **3** ist aus einem Material gebildet, durch das Licht von den Lichtquellen verläuft, oder ist so ausgeführt, dass sie hohl ist. Die Lichtquelle **5A**, die Lichtquelle **5B**, das Beugungsgitterglas **4A** und das Beugungsgitterglas **4B** sind an der Streifenprojektionseinheit **3** fixiert, weshalb sich die Beziehung der relativen Positionen zwischen der Lichtquelle **5A**, der Lichtquelle **5B**, dem Beugungsgitterglas **4A** und dem Beugungsgitterglas **4B** nicht verändert, oder eine Veränderung der Beziehung der relativen Positionen in einem solchen Ausmaß liegt, dass die Auswirkungen auf die Messung ignoriert werden können. Die Kombination aus der Lichtquelle **5A** und dem Beugungsgitterglas **4A** wirkt

als Projektor. Ebenso wirkt die Kombination aus der Lichtquelle **5B** und dem Beugungsgitterglas **4B** als Projektor.

[0036] Wie in **Fig. 3** gezeigt wird das Streifenmuster **8A** des Beugungsgitterglases **4A** auf eine Referenzebene **7** und ein Objekt **6** (ein zu messendes Objekt) projiziert, wenn die Lichtquelle **5A** eingeschaltet wird.

[0037] Wie in **Fig. 4** gezeigt gilt das gleiche für die Lichtquelle **5B** und das Beugungsgitterglas **4B**, und wird das Streifenmuster **5B** des Beugungsgitterglases **4B** auf die Referenzebene und das Objekt **6** (das zu messende Objekt) projiziert, wenn die Lichtquelle **5B** eingeschaltet wird.

[0038] Die Referenzebene **7** ist auf eine solche Weise auf einer nicht gezeigten Bühne bereitgestellt, dass die Referenzebene **7** durch Aufwärts- oder Abwärtsbewegen der Bühne um ein beliebiges Ausmaß in der Richtung der Normalen versetzt werden kann. Zudem ist an der Referenzebene ein Streifenmuster (oder Markierungen wie eine Skale), das (die) die x -Koordinaten angibt (angeben), bereitgestellt. Wie in PTL 2 beschrieben ist es auch möglich, eine Anzeige oder dergleichen zu verwenden, um die Referenzebene **7** bereitzustellen. Zudem kann wie in PTL 3 beschrieben anstelle der Referenzebene **7** eine gekrümmte Fläche verwendet werden.

[0039] Zunächst werden wie in **Fig. 5** gezeigt vor der Kalibrierung die Position der Streifenprojektionseinheit **3** und die Anordnungen der Kamera **1** und der Referenzebene **7** bestimmt und eingerichtet. Die Kamera **1** ist eine Kamera zur Aufnahme eines Bilds für die Kalibrierung. Die Kamera **1** kann auch zur Messung des Objekts **6** verwendet werden.

[0040] Wie in **Fig. 5** gezeigt wird die Referenzebene **7** auf eine solche Weise an die Positionen **R0**, **R1**, ... **RN** (z ist jeweils z_0 , z_1 , ... z_N) bewegt, dass an jeder Position ein Bild des Streifenmusters oder der Markierungen der Skale, das (die) die x -Koordinaten (im Fall von dreidimensionalen Koordinaten (x , y)-Koordinaten) angibt (angeben), aufgenommen wird. Dadurch können aus dem durch die Kamera **1** aufgenommenen Bild für jedes Pixel, dessen Bild aufgenommen wurde, die x -Koordinaten (im Fall der dreidimensionalen Koordinaten die (x , y)-Koordinaten) erlangt werden.

[0041] Als nächstes wird wie in **Fig. 6** gezeigt die Lichtquelle **5A** eingeschaltet, um das Streifenmuster **8A** in dem Beugungsgitterglas **4A** auf die Referenzebene **7** zu projizieren, und wird durch die Kamera **1** ein Bild davon aufgenommen. Darüber hinaus wird wie in **Fig. 7** gezeigt die Lichtquelle **5B** eingeschaltet, um das Streifenmuster **8B** in dem Beugungsgitterglas **5B** auf die Referenzebene **7** zu projizieren, und wird durch die Kamera **1** ein Bild davon aufgenommen. Zu

dieser Zeit wird wie in PTL 4 beschrieben die Phase des projizierten Streifens durch das Umschalten der Lichtquelle, die eingeschaltet ist, von einer Position zu der anderen verschoben und kann dadurch die Phasenverteilung ermittelt werden.

[0042] Aus der erlangten Phasenverteilung wird durch Vornehmen eines Prozesses der Phasenverbindung eine Verteilung der Phasenwerte φ_A und φ_B , die zur Aufeinanderfolge gebracht wurden, erlangt. Die Phasenwerte φ_A und φ_B , die zur Aufeinanderfolge gebracht wurden, sind Merkmalsgrößen, die durch Verwenden der Streifenmuster **8A** und **8B** erlangt werden. Somit kann wie in **Fig. 8** und **Fig. 9** schematisch gezeigt durch Verwenden der Streifenmuster **8A** und **8B** die Verteilung der Merkmalsgröße **A** (φ_A) und der Merkmalsgröße **B** (φ_B) erlangt werden. Diese Verteilung kann auf der Basis des Bilds der Referenzebene **7**, das wie oben beschrieben durch die Kamera **1** aufgenommen wurde, für jede Position der Referenzebene **7** als diskrete Verteilung für jedes Pixel erlangt werden. Hier verändert sich im Fall eines Streifenprojektionsverfahrens die Phase für jede Periode des Streifenmusters um $2n$ und werden daher die erlangten Phasenwerte für jedes $2n$ wiederholt. Doch die Information hinsichtlich der Veränderungen der räumlichen Phasen können für die Phasenverbindung verwendet werden, oder es können mehrere Projektionsstreifen mit unterschiedlichen Abständen verwendet werden, um die Phasenverbindung durch Verwenden der Information hinsichtlich ihrer Kombination zu ermöglichen. Dadurch wird die Wiederholung für jedes $2n$ für den Projektionsstreifen aufgehoben und können daher die Phasenwerte, die zur Aufeinanderfolge gebracht wurden, (die phasenverbundenen Phasenwerte) erlangt werden. Das gleiche gilt für den Fall, in dem ein Abtast-Moire-Verfahren, ein Phasenverschiebungsverfahren oder eine beliebige der anderen topologischen Analysetechniken verwendet wird.

[0043] Durch Vornehmen des oben beschriebenen Vorgangs wird an der Position der in **Fig. 10** gezeigten Referenzerlangungspunkte jeweils ein Satz von Merkmalsgrößen (φ_A , φ_B) und den Koordinaten (x , y) erlangt. **Fig. 10** zeigt die Referenzerlangungspunkte schematisch an diskontinuierlichen Punkten. Tatsächlich werden die Referenzerlangungspunkte, deren Anzahl in der x -Richtung die gleiche wie jene der Pixel der Kamera **1** ist, und deren Anzahl in der z -Richtung die gleiche wie die Anzahl der Abstände ist, um die die Referenzebene **7** in der z -Richtung bewegt wird, erlangt und sind die tatsächlich erlangten Referenzerlangungspunkte stärker als die in **Fig. 10** gezeigten konzentriert.

[0044] Zudem kann anstelle des hier gezeigten Streifenprojektionsmechanismus ein Flüssigkristallprojektor oder ein Projektor, der eine digitale Mikrospeigelvorrichtung (DCD) benutzt, verwendet wer-

den, damit in dem Raum auf die gleiche Weise eine Verteilung der Merkmalsgrößen erzeugt werden kann. Darüber hinaus kann im Fall der Verwendung eines Lichtschnittverfahrens wie etwa einer Abtastung mit Licht, das durch einen Schlitz verlaufen ist, der Umfang der Abtastung mit Licht, das durch den Schlitz verlaufen ist (zum Beispiel der Winkel, in dem Licht durch den Schlitz ausgestrahlt wird) als Merkmalsgröße verwendet werden.

[0045] Wie oben beschrieben kann nicht nur ein Verfahren zur Erlangung einer Merkmalsgröße von dem Muster, das von einer Projektionseinheit projiziert wird, sondern auch ein Verfahren zur Erlangung einer Merkmalsgröße durch Verändern des Musters auf mehrere Weisen wie etwa ein Phasenverschiebungsverfahren oder ein Gray-Code-Verfahren, oder eine Technik zur Erlangung einer Merkmalsgröße durch eine Veränderung des Musters wie etwa das oben beschriebene Lichtschnittverfahren als die vorliegende Technik angewendet werden. Im Fall eines Phasenverschiebungsverfahrens kann der erlangte Phasenwert als Merkmalsgröße verwendet werden, und im Fall eines Gray-Code-Verfahrens kann der Gray-Code-Wert zum Teilen des Raums als Merkmalsgröße verwendet werden. Zudem kann bei einer Technik, bei der polarisiertes Licht verwendet wird, die Richtung, in die das Licht polarisiert ist, als Merkmalsgröße verwendet werden.

Erzeugung der Merkmalsgrößen-Koordinaten-Tabelle

[0046] Als nächstes wird ein Vorgang zur Erzeugung einer Merkmalsgrößen-Koordinaten-Tabelle zur Ermittlung von Koordinaten (x , z) aus einem Satz von Merkmalsgrößen **A** und **B** (φ_A , φ_B) beschrieben. Wie in **Fig. 11** gezeigt werden zunächst die Referenzerlangungspunkte, die gemäß der oben beschriebenen Kalibrierungstechnik für jede Position der Referenzebene **7** als diskrete Verteilung für jedes Pixel erlangt wurden, auf einen Merkmalsgrößenraum projiziert. Hier ist der Merkmalsgrößenraum ein Raum mit den Merkmalsgrößen **A** und **B** als Koordinatenachsen. Für jeden Referenzerlangungspunkt wird ein Satz von Merkmalsgrößen (φ_A , φ_B) und Koordinaten (x , z) an jedem Referenzerlangungspunkt erlangt; und daher ist eine Projektion auf den Merkmalsgrößenraum in einem Zustand möglich, in dem für jeden der projizierten Referenzerlangungspunkte Koordinaten (x , z) erlangt werden.

[0047] Als nächstes werden die Punkte, an denen die Merkmalsgrößen **A** und **B** diskretisiert werden, betrachtet. **Fig. 11** zeigt einen Fall, in dem die Merkmalsgrößen in gleichen Intervallen diskretisiert werden. Diese Gitterpunkte werden als Tabellenelemente verwendet, um die Koordinatenwerte der Elemente durch eine Interpolation auf Basis der Werte der Koordinaten (x , z), von mehreren Referenzerlangungs-

punkten in der Umgebung der Tabellenelemente zu ermitteln. Dadurch kann der Wert jedes Elements in der Merkmalsgrößen-Koordinaten-Tabelle bezüglich der Merkmalsgrößen **A** und **B** (die für jedes Tabellenelement gespeicherten Daten) ermittelt werden. Dabei kann in dem Messgrößenraum durch das Vorhandensein von Referenzerlangungspunkten in der Umgebung eine signifikante Interpolation vorgenommen werden und wird daher der Bereich, in dem die Referenzpunkte bis zu einem gewissen Ausmaß konzentriert sind, als Messbereich angesehen.

[0048] Hier werden tatsächlich die Raumkoordinaten (x, y, z) in einem dreidimensionalen Raum ermittelt und ist daher die Erweiterung zu einem dreidimensionalen Raum erforderlich. Durch Einrichten der Projektoren auf drei oder mehr und Einrichten der Anzahl der davon erlangten Merkmalsgrößen auf drei oder mehr kann die Merkmalsgrößen-Koordinaten-Tabelle auf die gleiche Weise erzeugt werden. Jedes Tabellenelement wird zu dreidimensionalen Raumkoordinaten.

Erlangung der dreidimensionalen
Koordinaten eines zu messenden Objekts

[0049] Als nächstes wird ein Vorgang zum Messen der Koordinaten (x, z) eines Punkts auf der Oberfläche eines Objekts **6** (eines zu messenden Objekts) beschrieben. Zunächst wird eine Kamera **2** an einer Position eingerichtet, an der ein Bild des zu messenden Objekts aufgenommen werden kann. Dabei sind die Kamera **1** und die Referenzebene **7** nicht nötig und können sie daher entfernt werden.

[0050] Wie oben in Bezug auf **Fig. 3** und **Fig. 4** beschrieben können die Lichtquellen **5A** und **5B** eingeschaltet werden, um das Streifenmuster **8A** und das Streifenmuster **8B** in dem Beugungsgitterglas **4A** und dem Beugungsgitterglas **4B** auf die Oberfläche des Objekts zu projizieren. Auch in diesem Fall kann wie in **Fig. 12** und **Fig. 13** gezeigt angenommen werden, dass so wie im Fall der Projektion auf die Referenzebene **7** jeweils die Verteilung der Merkmalsgrößen **A** (φ_A) und der Merkmalsgrößen **B** (φ_B) auf die Oberfläche des Objekts projiziert wird.

[0051] Hier wird ein Punkt **P** auf dem Objekt, dessen Bild durch ein bestimmtes Pixel in der Kamera **2** aufgenommen wird, betrachtet. Auf den Punkt **P** werden eine bestimmte Merkmalsgröße **A** ($\varphi_{A, P}$) und eine bestimmte Merkmalsgröße **B** ($\varphi_{B, P}$) projiziert, wodurch in dem entsprechenden einen Pixel in der Kamera **2** ein Satz von Merkmalsgrößen ($\varphi_{A, P}, \varphi_{B, P}$) erlangt wird. Ebenso kann für die anderen Pixel zur Aufnahme eines Bilds in der Kamera **2** ein Satz von Merkmalsgrößen, der jedem Pixel entspricht, erlangt werden.

[0052] Als nächstes wird ein Vorgang zum Ermitteln der Raumkoordinaten (x_P, z_P) des Punkts **P** aus dem Satz von Merkmalsgrößen ($\varphi_{A, P}, \varphi_{B, P}$), der für den Punkt **P** erlangt wurde, beschrieben. Wie oben beschrieben wird die in **Fig. 11** gezeigte Merkmalsgrößen-Koordinaten-Tabelle, die vorab erzeugt wurde, verwendet, um wie in **Fig. 14** gezeigt die Daten, die in dem Tabellenelement **T₃** ($\varphi'_{A, P}, \varphi'_{B, P}$), das dem Satz von Merkmalsgrößen ($\varphi_{A, P}, \varphi_{B, P}$) am nächsten liegt, gespeichert sind, auszulesen, wodurch (x'_P, z'_P) ermittelt werden kann. Zudem können die Raumkoordinaten (x_P, z_P) des Punkts **P** auch durch eine Interpolation auf der Basis der Daten, die in mehreren Tabellenelementen (zum Beispiel **T₁**, **T₂**, **T₃** und **T₄**) in der Umgebung des Satzes von Merkmalsgrößen ($\varphi_{A, P}, \varphi_{B, P}$) gespeichert sind, berechnet werden.

[0053] Um die Raumkoordinaten (x, y, z) in dem dreidimensionalen Raum zu ermitteln, ist es nötig, den oben beschriebenen zweidimensionalen Raum zu dem dreidimensionalen Raum zu erweitern. **Fig. 15** ist ein Diagramm, das ein Verfahren zum Erlangen von drei Phasenwerten für jeden Punkt (jede Position) in dem zu messenden Raum nach der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0054] Wie in **Fig. 15** gezeigt werden drei Projektoren **PA**, **PB** und **PC** an unterschiedlichen Positionen angeordnet und wird die Richtung des zu projizierenden Streifens so reguliert, dass jeder Punkt (jede Position) in dem zu messenden Raum mit drei Phasenwerten, die zur Aufeinanderfolge gebracht wurden (und den „Merkmalsgrößen“ in der obigen Beschreibung entsprechen), versehen werden kann. Auch falls zwei Projektoren unter den drei Projektoren an dergleichen Position angeordnet werden, ist eine Messung möglich, wenn die Richtung oder der Abstand des zu projizierenden Streifens unterschiedlich ist. Kurz gesagt kann eine passende Kombination aus den Anordnungen der drei Projektoren, der Richtung und dem Abstand des zu projizierenden Streifens, und dergleichen bereitgestellt werden, um die Beziehung einer Eins-zu-Eins-Entsprechung zwischen den drei Phasenwerten und den dreidimensionalen Koordinaten in dem Messbereich oder einem Teilmessbereich zu erzielen. Dadurch befinden sich diese Kombination und die dreidimensionalen Koordinaten in der Beziehung einer Eins-zu-Eins-Entsprechung und ist es daher möglich, die Daten auf die gleiche Weise wie im Fall der zweidimensionalen Koordinaten in einer Tabelle für die dreidimensionalen Koordinaten zu zeigen. Die Entsprechungsbeziehung zwischen den drei Phasenwerten, die zur Aufeinanderfolge gebracht wurden, und den dreidimensionalen Koordinaten wird vorab in einer Tabelle gezeigt.

[0055] In dem Fall, in dem ein Bild des Objekts **6**, bei dem es sich um ein in dem zu messenden Raum angeordnetes zu messendes Objekt handelt, durch die Kamera **12** aufgenommen wird, werden für jeden

Punkt drei Phasenwerte erlangt. Zudem können in dem Fall einer dreidimensionalen Messung des Objekts die dreidimensionalen Koordinatenwerte durch eine Bezugnahme auf die oben beschriebene Tabelle aus den drei oder mehr Phasenwerten, welche aus dem durch die Kamera **12** aufgenommenen Bild erlangt wurden, erlangt werden.

[0056] Wie oben beschrieben ist die Beziehung zwischen den drei Phasenwerten und den dreidimensionalen Koordinatenwerten in einer Tabelle gezeigt, so dass die dreidimensionalen Koordinatenwerte sofort ermittelt werden können, und können die Koordinaten ohne Einbringung eines systematischen Fehlers und mit einer hohen Genauigkeit erlangt werden. Nach diesem Verfahren können die dreidimensionalen Koordinatenwerte unabhängig von der Position der Kamera **12** erlangt werden. Wie nachstehend beschrieben können sich die Positionen der Kamera oder einer Linse verändern, und sind auch ein Zoomen und eine Fokuseinstellung möglich. Bisher gibt es keine dreidimensionale Messvorrichtung, wodurch ein Bild des zu messenden Objekts nach der Einrichtung der Messvorrichtung durch Zoomen vergrößert werden kann oder unter Verwendung einer Autofokussierung aufgenommen werden kann, weshalb die Vorrichtung revolutionär ist und ein weiterer Anwendungsbereich erwartet werden kann.

[0057] Die jeweiligen Lichtquellen, die in den Projektoren **PA**, **PB** und **PC** bereitgestellt sind, arbeiten gemäß einem Steuerprogramm, womit ein Computer **30** versehen ist. Die Kamera **12** nimmt ein Bild des Streifenmusters, das auf das Objekt **6** projiziert wurde, auf und sendet die Information hinsichtlich des aufgenommenen Bilds an den Computer **30**. Der Computer **30** verwendet die in einem Speichermittel **31** gespeicherte Tabelle, in der die drei Phasenwerte (Merkmalsgrößen) mit den dreidimensionalen Koordinaten jedes Punkts auf der Oberfläche des Objekts **6** in Zusammenhang gebracht sind. Zudem werden die ermittelten dreidimensionalen Koordinatenwerte verwendet, damit an dem Anzeigebildschirm einer nicht gezeigten Anzeigevorrichtung, womit der Computer **30** versehen ist, ein dreidimensionales Bild dargestellt werden kann. Im Fall der Ausführung des Verfahrens zum Erlangen von Tabellendaten nach der vorliegenden Erfindung wird der Computer **30** verwendet, um das Programm zum Erlangen der Tabellendaten auszuführen, wodurch die Tabellendaten, die die Beziehung zwischen den Merkmalsgrößen und den dreidimensionalen Koordinatenwerten zeigen, erlangt werden. Das Programm kann in einem Speichermedium **32** gespeichert sein, oder das Programm kann durch Anschließen des Computers **30** an eine nicht gezeigte Kommunikationsleitung wie das Internet in der Cloud ausgeführt werden.

[0058] Zudem können der arithmetische Operationsprozess oder der Speicherprozess, die durch den

Computer **30** ausgeführt werden, das Speichermittel **31** oder das Speichermedium **32** teilweise durch Betreiben einer Verarbeitungseinheit wie etwa eines nicht gezeigten anderen Computers über den Anschluss an eine Kommunikationsleitung wie das Internet ausgeführt werden.

[0059] Nach der vorliegenden Erfindung benötigt das gesamte System unabhängig von der Anzahl der Kameras oder der Anzahl der Pixel der Kameras nur eine Tabelle. Daher führt eine Zunahme der Anzahl der Pixel der Kamera nicht notwendigerweise zu einer Zunahme der Speicherkapazität für die Tabelle. Zudem nimmt die Kapazität der Tabelle auch im Fall der Einrichtung mehrerer Kameras nicht zu.

[0060] Falls die Vorrichtung wie in **Fig. 16** gezeigt an einem sich bewegenden Roboter **14** angebracht ist und sich die Position der Kamera oder einer Linse zum Beispiel infolge von Schwingungen an einer Stelle, deren Straßenbedingungen nicht gut sind, verschoben hat, ermöglicht die Verwendung der vorliegenden Technik eine dreidimensionale Messung mit einer hohen Genauigkeit. Der sich bewegende Roboter **14**, der als Fortbewegungsmittel Räder aufweist, ist oben und unten mit Kameras **12** und **13** und mit Streifenprojektionseinheiten **15A** und **15B**, die eine Streifenprojektion in zwei Richtungen, der Längs- und der Querrichtung, ermöglichen, versehen.

[0061] Das Messverfahren nach der vorliegenden Erfindung kann nicht nur auf das Streifenprojektionsverfahren, sondern auch auf das Raumcodierungsverfahren und das Lichtschnittverfahren angewendet werden. Im Fall des Raumcodierungsverfahrens werden Projektionspfade in drei Richtungen eingerichtet und Muster mit zwei Werten mehrere Male projiziert, wodurch der Raum geteilt wird. Von den jeweiligen Projektoren werden drei Codes erlangt; und daher kann die Entsprechungsbeziehung zwischen diesen drei Codes und den Raumkoordinaten erzeugt werden.

[0062] Im Fall des Lichtschnittverfahrens werden drei Lichtquellen wie etwa Laser zur Ausstrahlung von Licht durch einen Schlitz bereitgestellt. Von den jeweiligen Lichtquellen werden drei Bewegungsausmaße des Lichts, das durch den Schlitz verlaufen ist, erlangt; und daher kann die Entsprechungsbeziehung zwischen den Werten, die diese Bewegungsausmaße darstellen, und den Raumkoordinaten erzeugt werden.

[0063] Wenn wie oben beschrieben nur auf einen zweidimensionalen Raum abgezielt wird, sind wenigstens zwei Projektoren erforderlich. Selbst wenn drei oder mehr Projektoren vorhanden sind, ist es möglich, von drei Werten zwei Komponenten der Koordinatenwerte zu erlangen. Wenn wie oben beschrieben auf einen dreidimensionalen Raum abge-

zielt wird, sind wenigstens drei Projektoren erforderlich. Selbst wenn vier oder mehr Projektoren vorhanden sind, ist es möglich, von vier oder mehr Werten drei Komponenten der Koordinatenwerte zu erlangen.

[0064] Fig. 17 ist ein Diagramm, das einen Vorgang zum Erzeugen einer Merkmalsgrößen-Koordinaten-Tabelle durch Erlangen von drei oder mehr Merkmalsgrößen von Projektoren, deren Anzahl drei oder mehr beträgt, und Lesen der Koordinaten unter Verwendung der Merkmalsgrößen-Koordinaten-Tabelle darstellt.

[0065] Auch in diesem Fall können auf die gleiche Weise wie im Fall von Fig. 14 (x'_p, y'_p, z'_p) als die Raumkoordinaten des Punkts **P** aus den Tabellenelementen, die dem Satz von Merkmalsgrößen ($\varphi_{A, P}, \varphi_{B, P}, \varphi_{C, P}$), welche für den Punkt **P** erlangt wurden, am nächsten liegen, ermittelt werden, und können (x_p, y_p, z_p) auf Basis der Daten, die als mehrere Tabellenelemente in der Umgebung des Satzes der Merkmalsgrößen gespeichert sind, durch eine Interpolation erlangt werden.

[0066] Zudem gibt es eine Technik zur Ermittlung von Koordinaten durch Suchen, ohne eine Merkmalsgrößen-Koordinaten-Tabelle zu erzeugen. Fig. 18 zeigt einen Vorgang dafür. Fig. 18 enthält von oben nach unten eine Kurve **A**, eine Kurve **B** und eine Kurve **X**, wobei die jeweiligen Kurven die Merkmalsgröße **A** (**A**) und die Merkmalsgröße **B** (**B**), die den Pixelnummern (i-Koordinaten) in der Querrichtung des durch die Kamera 1 aufgenommenen Bilds entsprechen, wie auch die von der Referenzebene 7 erlangte Verteilung der x-Koordinaten zeigen.

[0067] Zudem zeigen die Kurven **A**, **B** und **X** alle schematisch das Plotten der Werte, die durch Bewegen der Referenzebene 7 an die Positionen R_0, R_1, \dots, R_N (z ist jeweils z_0, z_1, \dots, z_N) erlangt wurden. Diese Werte verändern sich entlang der Referenzebene fortlaufend und monoton und werden daher für jede Position der Referenzebene 7 in einer sanft gekrümmten Form erlangt.

[0068] Zuerst werden in den Kurven **A** und **B** i-Koordinaten, an denen die Werte von z in beiden Kurven **A** und **B** gleich werden, oder i-Koordinaten, an denen die Werte von z einander nahe kommen, aus den Sätzen von Merkmalsgrößen ($\varphi_{A, P}, \varphi_{B, P}$), die für den Punkt **P** auf dem Objekt erlangt wurden, gesucht.

[0069] In den Kurven **A** und **B** muss es einen Punkt geben, dessen i-Koordinate und z-Koordinate die gleichen wie jene des auf dem Objekt befindlichen Punkts **P** sind. Hier sind die Positionen, an denen die Referenzebene 7 eingerichtet wird, diskret, und wird der identische Punkt daher nicht notwendigerweise gefunden. In diesem Fall kann ein ungefährender Punkt

gefunden werden, wenn die Intervalle, in denen die Referenzebene 7 eingerichtet wird, klein sind, oder kann ein solcher Punkt durch eine Interpolation ermittelt werden.

[0070] Fig. 18 zeigt einen Fall, in dem ein solcher Punkt auf der Referenzebene 7 gesucht werden kann. Die Nummer der Referenzebene 7 und deren z-Koordinate und i-Koordinate, die auf die oben beschriebene Weise gesucht und gefunden wurde, werden gespeichert. Hier lautet die Nummer der Referenzebene 7 2, lautet die z-Koordinate z_2 , und lautet die i-Koordinate i_p . Als nächstes kann in der Kurve **X** der Wert der x-Koordinate x_p aus der Nummer 2 ihrer Referenzebene 7 und der i-Koordinate i_p gelesen werden. Zudem lautet die z-Koordinate z_2 und kann nach diesem Vorgang (x_p, z_p) erlangt werden.

[0071] Diese Weise zur Ermittlung der Koordinaten durch Suchen kann auch auf die dreidimensionalen Koordinaten erweitert werden. In Fig. 18 ist die Querachse die i-Koordinate und sind die Kurven **A**, **B** und **X** Merkmalsgrößen, die jeweils den i-Koordinaten entsprechen. Im Fall einer Erweiterung auf die dreidimensionalen Koordinaten können Kurven für die Merkmalsgrößen **A** (φ_A), **B** (φ_B) und **C** (φ_C), die den Koordinaten (i, j) der Pixel in der Kamera 1 und den x-Koordinaten und den y-Koordinaten entsprechen, erzeugt werden. Dadurch können die dreidimensionalen Koordinaten durch den gleichen Vorgang ermittelt werden.

[0072] Durch Verwenden des oben beschriebenen Verfahrens ist eine dreidimensionale Messung ohne jegliche Kalibrierung der Kamera 2, mit der die Messung an einem Objekt durchgeführt wird, möglich. Das heißt, es ist möglich, die Kamera 2 an eine andere Position zu bewegen oder den Fokus der Linse einzustellen oder das Zoomen einzustellen. Aufgrund eines Faktors im Inneren der Kamera wie etwa einer Wärmeezeugung kann sich die Temperatur verändern, was eine Verformung im Inneren der Kamera verursachen kann, wodurch sich die Position, von der ein Bild aufgenommen wird, mikroskopisch verschieben kann; dies beeinflusst jedoch die Messung nicht.

[0073] Das Ausmaß der Biegung einer Linse oder im Inneren der Kamera kann sich abgänglich von der Richtung der Kamera mikroskopisch verändern, da sich die Richtung der auf die Kamera wirkenden Schwerkraft ändert; dies beeinflusst jedoch die Messung nicht. Im Allgemeinen ist eine Linse an einem beweglichen Abschnitt wie einem Fokuseinstellmechanismus oder einem Zoom-Mechanismus angebracht, und besteht daher ein geringes Ausmaß an Rütteln oder Schwanken, was eine mikroskopische Verformung infolge der Schwingungen oder der Richtung der Schwerkraft verursachen kann. Dies hat bei einer herkömmlichen dreidimensionalen Messvorrichtung die Messgenauigkeit verringert; doch be-

einflusst dies die Messvorrichtung im Fall einer Verwendung des Verfahrens der vorliegenden Erfindung nicht.

[0074] Hier, in der vorliegenden Beschreibung, wird die oben beschriebene Technik zur Ermittlung von Raumkoordinaten auf Basis der Entsprechungsbeziehung zwischen den mehreren Merkmalsgrößen und den Raumkoordinaten als „Gesamtraummess-technik vom Merkmalsgrößentyp“ bezeichnet, und wird die Technik zur Ermittlung der Raumkoordinaten durch Angeben dieser Entsprechungsbeziehung in einer Tabelle als „Technik zur Angabe des Gesamt-raums vom Merkmalsgrößentyp in einer Tabelle“ bezeichnet.

Beispiel für den Aufbau der Vorrichtung

[0075] Im Folgenden wird ein Beispiel für den Aufbau der Vorrichtung gezeigt. **Fig. 19** zeigt einen Zustand, in dem Streifenprojektionseinheiten zum Projizieren eines Streifens in der Querrichtung an der linken und der rechten Seite angebracht sind, und eine Streifenprojektionseinheit zum Projizieren eines Streifens in der Querrichtung in dem Mittelbereich angebracht ist. Dies gestattet, dass in dem Messbereich oder einem Teilbereich davon rasch ein Satz von mehreren Merkmalsgrößen erlangt wird.

[0076] Das Beugungsgitterglas **4A** und das Beugungsgitterglas **4B** sind an der linken und der rechten Seite der Streifenprojektionseinheit **3** angebracht, und das Beugungsgitterglas **4C** ist in dem Mittelbereich angebracht. Lichtquellen **5A**, **5B** und **5C** sind so in der Streifenprojektionseinheit **3** bereitgestellt, dass sie einer jeden Platte von Beugungsgittergläsern **4A**, **4B** und **4C** entsprechen. Es ist erwünscht, dass die Platten von Beugungsgittergläsern **4A**, **4B** und **4C** auf eine solche Weise angeordnet werden, dass die Richtungen aller Streifen unterschiedlich sind.

[0077] **Fig. 20** zeigt einen Zustand, in dem Kameras in das Innere der Vorrichtung eingebaut sind. Die Kamera, die für die Kalibrierung verwendet wird, und die Kamera, die für die Messung verwendet wird, können identisch oder verschieden sein. Die Kameras sind in die Vorrichtung eingebaut, weshalb die gesamte Vorrichtung miniaturisiert werden kann.

[0078] Es ist möglich, eine eingebaute Kamera mit einer Zoom-Linse zu versehen. Wenn mehrere Kameras eingebaut sind, ist eine Kamera mit einer Weitwinkellinse zum Messen eines weiten Bereichs versehen, und ist eine andere Kamera mit einer Zoom-Linse versehen, damit zum Teil eine detaillierte dreidimensionale Messung ermöglicht werden kann. Zudem kann eine Kamera mit einem Schwenk/Kippmechanismus versehen werden, damit die Bereitstellung einer dreidimensionalen Messvorrichtung, wodurch ein ausführlicheres Bild des erforderlichen Be-

reichs aufgenommen werden kann, ermöglicht wird. Bei der Ausführungsform in **Fig. 20** sind eine Kamera **16** mit einer Zoom-Linse und eine Kamera **17** eingebaut.

[0079] **Fig. 21** zeigt eine Vorrichtung, die Streifen in einem beliebigen Winkel projizieren kann. An einer Streifenprojektionseinheit **3** sind Platten von Beugungsgittergläsern **4A**, **4B** und **4C** angebracht. Gemäß der Messtechnik nach der vorliegenden Erfindung ist eine dreidimensionale Messung möglich, sofern die Anordnung gestattet, dass in dem Messbereich oder einem Teilbereich selbst bei einer wie oben beschriebenen Anbringung der Projektionsstreifen in einer beliebigen Richtung eine eindeutige Erlangung eines Satzes von mehreren Merkmalsgrößen erfolgt. Zudem ist selbst dann, wenn die Anordnung die eindeutige Erlangung eines Satzes von mehreren Merkmalsgrößen in einem Teilbereich gestattet, ein Mittel, das bestimmen kann, welcher Teilbereich betroffen ist, erforderlich. Wenn zum Beispiel in jedem Teilbereich an der linken Seite oder der rechten Seite in dem Messbereich eine eindeutige Bestimmung eines Satzes von Merkmalsgrößen erfolgt, ist gesondert ein Mittel zur Präzisierung, ob die linke Seite oder die rechte Seite des Messbereichs betroffen ist, erforderlich. Das gleiche gilt auch für einen Fall, in dem an sich viele Teilbereiche vorhanden sind. Wenn für die Merkmalsgrößen Phasenverteilungen, die nicht phasenverbunden sind (Phasenverteilungen, bei denen $2n$ wiederholt wird) verwendet werden, wird angenommen, dass der Messbereich mehrere Punkte enthält, an denen der Satz von Merkmalsgrößen gleich wird. In einem solchen Fall ist gesondert ein Mittel zum Bestimmen, welcher Teilbereich der zu ermittelnde Bereich ist, erforderlich.

[0080] **Fig. 22** zeigt einen Fall, in dem vier Abschnitte zur Projektion eines Streifens vorhanden sind, die Platten von Beugungsgittergläsern **4A**, **4B**, **4C** und **4D** aufweisen. Selbst wenn vier oder mehr Streifenmuster projiziert werden, ist eine dreidimensionale Messung möglich, sofern die Anordnung die eindeutige Erlangung eines Satzes von mehreren Merkmalsgrößen in dem Messbereich oder einem Teilbereich davon gestattet.

[0081] **Fig. 23** zeigt einen Fall, in dem Streifen unter Verwendung von Platten von Beugungsgittergläsern **4A**, **4B** und **4C** in einer beliebigen Richtung projiziert werden und darüber hinaus mehrere Kameras **18**, **19** und **20** eingebaut sind. Es ist möglich, dass die mehrere Kameras derart unterschiedliche Funktionen aufweisen, dass in den jeweiligen Kameras das Aufnehmen eines Weitwinkelbilds, das Zoomen, das Einstellen des Fokus und ein Schwenk/Kippmechanismus bereitgestellt wird. Zudem können durch Synthetisieren der Verteilung der Raumkoordinaten, die durch das Aufnehmen von Bildern mit mehreren

Kameras erlangt wurden, Messergebnisse mit einem verringerten Rauschen erlangt werden.

Versuchsbeispiel

[0082] Bei einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden für die Lichtquellen in den Streifenprojektionseinheiten unterschiedliche Wellenlängen gewählt, so dass Streifenmuster zur gleichen Zeit projiziert werden können, da Bilder an der Bildaufnahmeseite gesondert aufgenommen werden können. Das heißt, es wird möglich, die Raumkoordinaten aus einem Bild zu ermitteln, das ein Mal aufgenommen wurde. Dadurch ist auch in einem Zustand, in dem die Vorrichtung schwankt, eine dreidimensionale Messung möglich. Zum Beispiel ist selbst dann eine dreidimensionale Messung mit einer hohen Genauigkeit möglich, wenn die Vorrichtung in der Hand gehalten wird. Zudem ist selbst dann eine dreidimensionale Messung mit einer hohen Genauigkeit möglich, wenn die Vorrichtung an einer Drohne oder dergleichen angebracht ist, und ist es daher möglich, die Vorrichtung für die Untersuchung einer Infrastruktur einzusetzen.

[0083] Darüber hinaus können Projektoren, die Streifenmuster in zwei Richtungen projizieren können, wie etwa ein Flüssigkristallprojektor als Streifenprojektionseinheit verwendet werden. In einem solchen Fall können durch eine Projektionseinheit zwei Merkmalsgrößen erlangt werden. Daher sind im Fall der Verwendung einer solchen Projektionseinheit wenigstens zwei Streifenprojektionseinheiten erforderlich, um dreidimensionale Raumkoordinaten zu ermitteln.

[0084] Obwohl oben Ausführungsformen nach der vorliegenden Erfindung beschrieben wurden, ist die vorliegende Erfindung nicht auf diese Ausführungsformen beschränkt und kann die Erfindung durch Anwenden passender Abwandlungen in anderen Ausführungsformen ausgeführt werden, um die folgenden Wirkungen bereitzustellen.

(1) Dreidimensionale Koordinatenwerte können unverzüglich ermittelt werden, und daher können die Koordinaten ohne Einbringung eines systematischen Fehlers mit einer hohen Genauigkeit ermittelt werden.

(2) Dreidimensionale Koordinatenwerte können unabhängig von der Position der Kamera ermittelt werden. Das heißt, die Position der Kamera oder einer Linse kann sich verschieben, was ein Zoomen oder ein Einstellen des Fokus möglich macht. Selbst wenn mehrere Kameras verwendet werden, braucht die Tabelle nicht vergrößert werden.

(3) Selbst, wenn die Vorrichtung in einer schwingenden Umgebung verwendet wird, braucht als Antischwingungsmaßnahme nur der Abschnitt zum Projizieren eines Streifens fest ausgeführt werden.

[0085] Im Folgenden wird ein Versuchsbeispiel zur Gesamtraummesstechnik vom Merkmalsgrößentyp beschrieben. Bei diesem Versuch wurden zum Zwecke der Einfachheit zwei Merkmalsgrößen verwendet, um die (x , z)-Koordinaten zu ermitteln. **Fig. 24** zeigt die Anordnung von zwei Projektoren, einer Referenzebene **7**, eines zu messenden Objekts, einer Kamera **1** als Kamera zur Erzeugung einer Tabelle, und einer Kamera **2** als Kamera zur Messung.

[0086] Eine Lichtquelle **5A** mit einem Beugungsgitterglas **4A** und eine Lichtquelle **5B** mit einem Beugungsgitterglas **4B** wurden an einer Streifenprojektionseinheit **3** fixiert. Die Lichtquelle **5A** mit dem Beugungsgitterglas **4A** wirkte als Projektor. Als Ergebnis konnten ein Streifen A und ein Streifen B jeweils auf die Referenzebene **7** und das zu messende Objekt projiziert werden. Zudem war die Kamera **1** in der Streifenprojektionseinheit **3** fixiert. Die Streifenprojektionseinheit **3** war so an einer linearen Bühne angebracht, dass sie zu einer Versetzung um ein beliebiges Ausmaß in der Richtung der Normalen der Referenzebene **7** in der Lage war.

[0087] Die Referenzebene **7** wurde an der Oberfläche eines Flüssigkristallmonitors **10**, an die eine lichtstreuende Platte geklebt war, bereitgestellt. Der Flüssigkristallmonitor **10** zeigte ein Streifenmuster in der x -Richtung, und ein Bild davon wurde mit der Kamera **1** aufgenommen, damit für jedes Pixel zur Aufnahme eines Bilds die x -Koordinaten-Werte an der Referenzebene **7** ermittelt werden konnten. Zudem konnten durch Projizieren des Streifens A und des Streifens B die x -Koordinatenwerte, die z -Koordinatenwerte, der Phasenwert φ_A des Streifens A und der Phasenwert φ_B des Streifens B für jedes Pixel zur Aufnahme eines Bilds der Referenzebene **7** ermittelt werden.

[0088] Bei diesem Versuch wurde die Referenzebene **7** in Intervallen von 10 mm von $z = 0$ mm nach $z = 90$ mm bewegt, und wurden an jeder Position davon die Phasenwerte des projizierten Streifens analysiert, wurde der Streifen in der x -Richtung an dem Flüssigkristallmonitor dargestellt, und ein Bild aufgenommen. Für die topologische Analyse des projizierten Streifens wurde das Abtast-Moire-Verfahren verwendet, und an der erlangten Phasenverteilung wurde ein Prozess der Phasenverbindung vorgenommen, wodurch der Phasenwert φ_A des Streifenmusters **8A** und der Phasenwert φ_B des Streifenmusters **8B** für jedes Pixel ermittelt wurden. Zudem wurde für die topologische Analyse des Streifens in der x -Richtung, der an der Referenzebene **7** dargestellt wurde, das Phasenverschiebungsverfahren verwendet.

[0089] Im Fall dieses Versuchs wurde die Referenzebene **7** nicht bewegt und statt dessen die Streifen-

projektionseinheit **3** bewegt, um den Zustand einer relativen Bewegung der Referenzebene **7** bereitzustellen. Die in **Fig. 24** gezeigten Positionen r_0, R_1, \dots, R_N der Referenzebene **7** sind Positionen in Bezug auf die Streifenprojektionseinheit **3**.

[0090] Als nächstes wurde wie in **Fig. 25** gezeigt eine weiße Platte **11** als zu messendes Objekt verwendet, die in Bezug auf die x-Achse in einem Winkel von 30 Grad geneigt eingerichtet wurde. Auf der weißen Platte **11** wurden zwei Punkte P_1 und P_2 in einem Abstand von 40 mm markiert. Ein Streifenmuster **8A** wurde auf das Objekt projiziert und davon ein Bild mit der Kamera **2** aufgenommen. Aus dem erlangten Bild wurde durch das Abtast-Moire-Verfahren gefolgt von der Phasenverbindung die Phasenverteilung ermittelt, wodurch jeweils die Phasenwerte $\varphi_{A, P}$, an den Punkten P_1 und P_2 und die Phasenwerte $\varphi_{B, P1}$ des Streifenmusters **8B** ermittelt wurden. Ebenso wurden durch Projizieren des Streifenmusters **8B** auf das Objekt die Phasenwerte $\varphi_{A, P2}$ an den Punkten P_1 und P_2 und die Phasenwerte $\varphi_{B, P2}$ des Streifenmusters **8B** ermittelt. Diese Phasenwerte wurden als die Merkmalsgrößen verwendet.

[0091] Als Ergebnisse des Versuchs lauteten die Phasenwerte $\varphi_{A, P1}$ und $\varphi_{B, P1}$ an dem Punkt P_1 jeweils -31,49 rad und -35,44 rad. Zudem lauteten die Phasenwerte $\varphi_{A, P2}$ und $\varphi_{B, P2}$ an dem Punkt P_2 jeweils -47,66 rad und -53,64 rad. Auf Basis dieser Merkmalsgrößen wurden die (x, z)-Koordinaten als (61,0 mm, 50,0 mm) an dem Punkt P_1 und (96,1 mm, 30,0 mm) an dem Punkt P_2 ermittelt. Der Abstand zwischen diesen beiden Punkten wurde aus den erlangten Koordinatenwerten als 40,4 mm ermittelt, wodurch erkannt werden konnte, dass zwischen den beiden Punkten ein Abstand besteht. Bei diesem Versuch wurde eine Technik zum Ermitteln von Koordinaten durch Suchen ohne Erzeugen einer Merkmalsgrößen-Koordinaten-Tabelle, die unter Bezugnahme auf **Fig. 18** beschrieben wurde, verwendet.

[0092] Diese Anmeldung wurde unter Beanspruchung der Priorität der am 8. Mai 2017 eingereichten Japanischen Patentanmeldung 2017-092144, deren gesamte Offenbarung hier aufgenommen wird, eingereicht.

Bezugszeichenliste

1	Kamera
2	Kamera
3	Streifenprojektionseinheit
4A	Beugungsgitterglas
4B	Beugungsgitterglas
5A	Lichtquelle
5B	Lichtquelle

7	Objekt
8A	Streifenmuster
8B	Streifenmuster
9	lineare Bühne
10	Flüssigkristallmonitor
11	Platte
12	Kamera
13	Kamera
14	sich bewegnender Roboter
15A	Streifenmuster
15B	Streifenmuster
16	Kamera mit einer Zoom-Linse
17	Kamera
18	Kamera
19	Kamera
20	Kamera
30	Computer
31	Speichermittel
32	Speichermedium

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2017092144 [0092]

Patentansprüche

1. Messverfahren zum Ermitteln der Raumkoordinaten einer Oberfläche eines zu messenden Objekts, umfassend die folgenden Schritte:

Vorbereiten von mehreren Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und des Projizierens eines Musters oder einer Veränderung des Musters von mehreren Positionen, die auf eine solche Weise angeordnet sind, dass zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einem Messbereich oder in einem Teilbereich des Messbereichs eine Beziehung einer Eins-zu-Eins-Entsprechung erreicht wird, auf eine Oberfläche eines zu messenden Objekts; Aufnehmen eines Bilds des Musters oder der Veränderung des Musters, das auf die Oberfläche des zu messenden Objekts projiziert wurde; und Verwenden der Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den Raumkoordinaten, die vorab unter Verwendung eines Referenzobjekts ermittelt wurde, um aus den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen, die auf der Basis des aufgenommenen Bilds erlangt wurden, die Raumkoordinaten herauszufinden.

2. Messverfahren nach Anspruch 1, wobei die Beziehung zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einer Tabelle gezeigt ist, so dass die Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts auf der Basis der Werte, die zur Zeit der Messung der Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts in der Tabelle gezeigt sind, ermittelt werden können.

3. Messverfahren nach Anspruch 1, wobei ein Teil der Beziehung zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einer Tabelle gezeigt ist, so dass die Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts durch eine Interpolation unter Verwendung der Werte, die zur Zeit der Messung der Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts in der Tabelle gezeigt sind, ermittelt werden können.

4. Messverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts aus den Sätzen von mehreren Merkmalsgrößen, die unter Verwendung mehrerer Lichtwellenlängen für die Projektion von den mehreren Positionen gleichzeitig erhalten werden, ermittelt werden.

5. Messverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Raumkoordinaten des zu messenden Objekts durch die Projektion von den mehreren Positionen, die entlang einer Linie angeordnet sind, ermittelt werden.

6. Verfahren zum Ermitteln der Beziehung zwischen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und jeweiligen Raumkoordinaten, wobei die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten bei dem Messverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5 durch Projizieren eines Musters oder einer Veränderung des Musters von mehreren Positionen auf die Oberfläche des Referenzobjekts in mehreren Intervallen unter Veränderung der Entfernungen zwischen den mehreren Positionen und dem Referenzobjekt ermittelt wird.

7. Verfahren zum Ermitteln der Beziehung zwischen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und jeweiligen Raumkoordinaten durch Vorbereiten von mehreren Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und Projizieren eines Musters oder einer Veränderung des Musters von mehreren Positionen, die auf eine solche Weise angeordnet sind, dass zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einem Messbereich oder in einem Teilbereich des Messbereichs eine Beziehung einer Eins-zu-Eins-Entsprechung erreicht wird, auf die Oberfläche des Referenzobjekts in mehreren Intervallen unter Veränderung der Entfernungen zwischen den mehreren Positionen und dem Referenzobjekt.

8. Verfahren zum Ermitteln der Beziehung zwischen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und jeweiligen Raumkoordinaten nach Anspruch 6 oder 7, wobei ein Streifenmuster oder eine Markierung auf der Oberfläche des Referenzobjekts fixiert wird.

9. Verfahren zum Ermitteln der Beziehung zwischen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und jeweiligen Raumkoordinaten nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei für die Projektion von den mehreren Positionen mehrere Lichtwellenlängen verwendet werden.

10. Verfahren zum Ermitteln der Beziehung zwischen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und jeweiligen Raumkoordinaten nach einem der Ansprüche 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mehreren Positionen entlang einer Linie angeordnet sind.

11. Messvorrichtung zum Ermitteln der Raumkoordinaten einer Oberfläche eines zu messenden Objekts, umfassend:

eine erste Projektionseinheit, die mehrere Sätze von drei oder mehr Merkmalsgrößen aufweist und so ausgebildet ist, dass sie von mehreren Positionen, die auf eine solche Weise angeordnet sind, dass zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einem Messbereich oder in einem Teilbe-

reich des Messbereichs eine Beziehung einer Eins-zu-Eins-Entsprechung erreicht wird, ein Muster oder eine Veränderung des Musters auf eine Oberfläche eines zu messenden Objekts projiziert;
 eine Bildaufnahmeeinheit, die so ausgebildet ist, dass sie ein Bild des Musters oder der Veränderung des Musters, das auf die Oberfläche des zu messenden Objekts projiziert wurde, aufnimmt;
 eine Speichereinheit, die so ausgebildet ist, dass sie die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten speichert; und
 eine Raumkoordinaterlangungseinheit, die so ausgebildet ist, dass sie die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten, die in der Speichereinheit gespeichert wurden, verwendet, um aus den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen, die auf der Basis des aufgenommenen Bilds erlangt wurden, die Raumkoordinaten herauszufinden.

12. Messvorrichtung nach Anspruch 11, wobei die Beziehung zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einer Tabelle gezeigt ist, die in der Speichereinheit gespeichert ist, so dass die Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts auf der Basis der Werte, die zur Zeit der Messung der Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts in der Tabelle gezeigt sind, ermittelt werden können.

13. Messvorrichtung nach Anspruch 11, wobei ein Teil der Beziehung zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einer Tabelle gezeigt ist, die in der Speichereinheit gespeichert ist, so dass die Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts durch eine Interpolation unter Verwendung der Werte, die zur Zeit der Messung der Raumkoordinaten des zu messenden Objekts in der Tabelle gezeigt sind, ermittelt werden können.

14. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei die Sätze von mehreren Merkmalsgrößen unter Verwendung unterschiedlicher Lichtwellenlängen für die Projektion von den mehreren Positionen der ersten Projektionseinheit gleichzeitig erhalten werden.

15. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei die Raumkoordinaten der Oberfläche des zu messenden Objekts durch die Projektion von den mehreren Positionen, die entlang einer Linie angeordnet sind, ermittelt werden.

16. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, wobei die Messvorrichtung so ausgebildet ist, dass sie die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jewei-

ligen Raumkoordinaten durch Projizieren eines Musters oder einer Veränderung des Musters von mehreren Positionen der ersten Projektionseinheit in mehreren Intervallen unter Veränderung der Entfernungen zwischen der ersten Projektionseinheit und dem Referenzobjekt auf die Oberfläche des Referenzobjekts ermittelt.

17. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, wobei die Messvorrichtung so ausgebildet ist, dass sie die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten durch Verwenden einer zweiten Projektionseinheit mit dem gleichen Aufbau wie jenem der ersten Projektionseinheit und Projizieren eines Musters oder einer Veränderung des Musters von der zweiten Projektionseinheit in mehreren Intervallen unter Veränderung der Entfernungen zwischen der zweiten Projektionseinheit und dem Referenzobjekt auf die Oberfläche des Referenzobjekts ermittelt.

18. Messvorrichtung, umfassend:
 mehrere Projektionseinheiten, die mehrere Sätze von drei oder mehr Merkmalsgrößen aufweisen und so ausgebildet sind, dass sie von mehreren Positionen, die auf eine solche Weise angeordnet sind, dass zwischen den jeweiligen Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten in einem Messbereich oder in einem Teilbereich des Messbereichs eine Beziehung einer Eins-zu-Eins-Entsprechung erreicht wird, ein Muster oder eine Veränderung des Musters projizieren;
 eine Veränderungseinheit, die so ausgebildet ist, dass sie die Entfernungen zwischen den mehreren Projektionseinheiten und dem Referenzobjekt verändert; und
 eine Bildaufnahmeeinheit, die so ausgebildet ist, dass sie in mehreren Intervallen unter Veränderung der Entfernungen zwischen den mehreren Projektionseinheiten und dem Referenzobjekt ein Bild des Musters oder einer Veränderung des Musters aufnimmt,
 wobei die Messvorrichtung so ausgebildet ist, dass sie die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den jeweiligen Raumkoordinaten auf der Basis eines Bilds, das durch die Bildaufnahmeeinheit aufgenommen wurde, und der Entfernungen zwischen den mehreren Projektionseinheiten und dem Referenzobjekt ermittelt.

19. Messvorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, wobei die Beziehung zwischen den Sätzen von drei oder mehr Merkmalsgrößen und den Raumkoordinaten durch Fixieren eines Streifenmusters oder einer Markierung auf der Oberfläche des Referenzobjekts ermittelt wird.

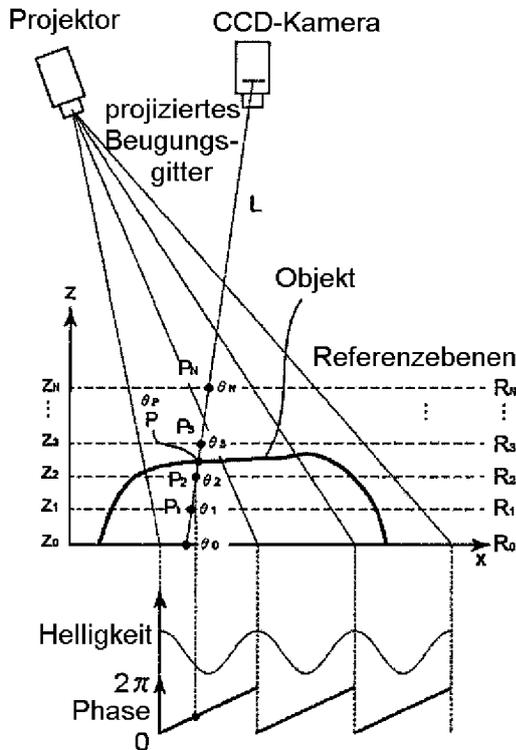
20. Messvorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 19, wobei die Projektionseinheiten als einzelnes Projektionsmodul zusammengefasst sind und die

Bildaufnahmeeinheit auf eine solche Weise aus mehreren Kameras besteht, dass die mehreren Kameras in dem Projektionsmodul bereitgestellt sind.

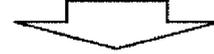
Es folgen 16 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

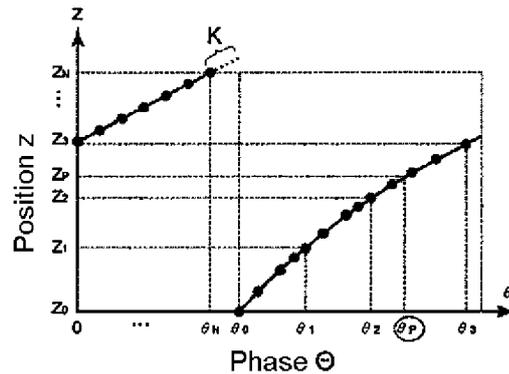
FIG. 1



DIE HÖHE Z₀, Z₁, Z₂ ... Z_N UND DIE PHASE θ₀, θ₁, θ₂ ... θ_N STEHEN FÜR JEDES BELIEBIGE PIXEL IN EINER EINS-ZU-EINS-BEZIEHUNG

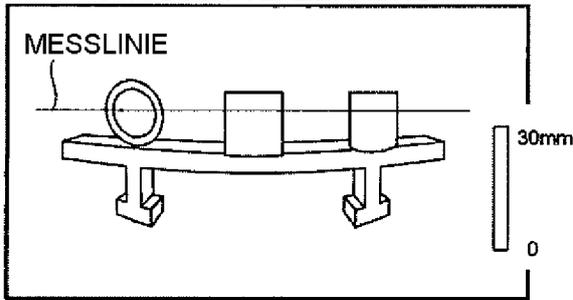


DAS HEISST, EINE DARSTELLUNG IN EINER TABELLE IST MÖGLICH



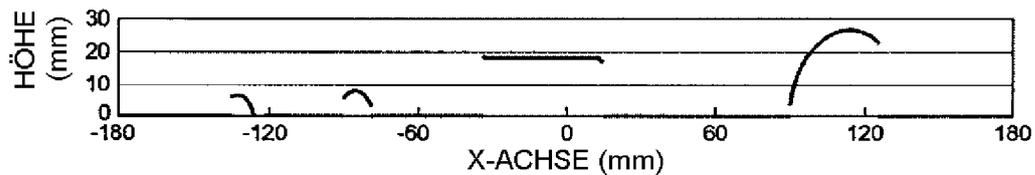
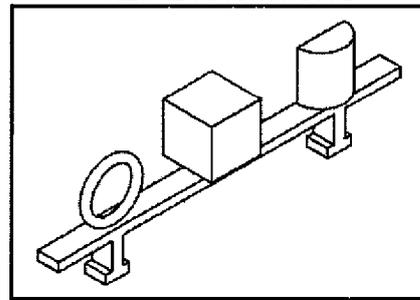
KOORDINATENWERTE KÖNNEN DURCH BEZUGNAHME AUF DIE TABELLE AUS DER PHASE ERLANGT WERDEN
→ MIT EINER HOHEN GESCHWINDIGKEIT

WEITWINKELLINSE MIT EINER GROSSEN VERZERRUNG



MESSERGEBNISSE DER HÖHENVERTEILUNG

MESSERGEBNISSE ENTHALTEN KEINE KRÜMMUNG



QUERSCHNITTFORM

FIG. 2

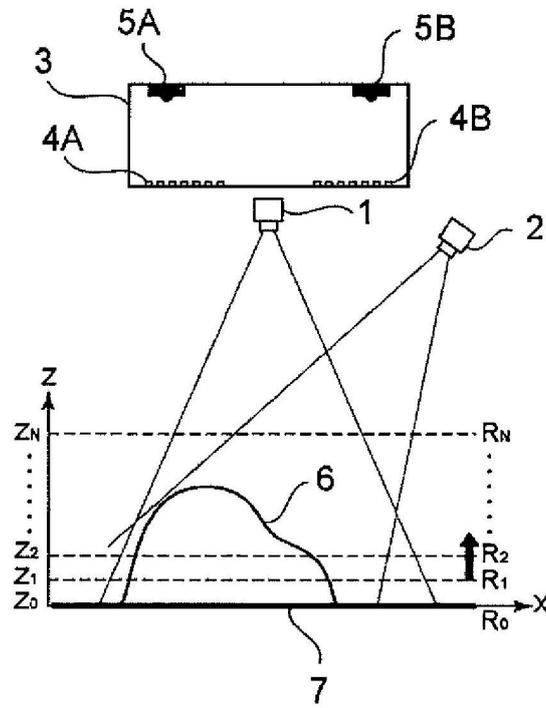


FIG. 3

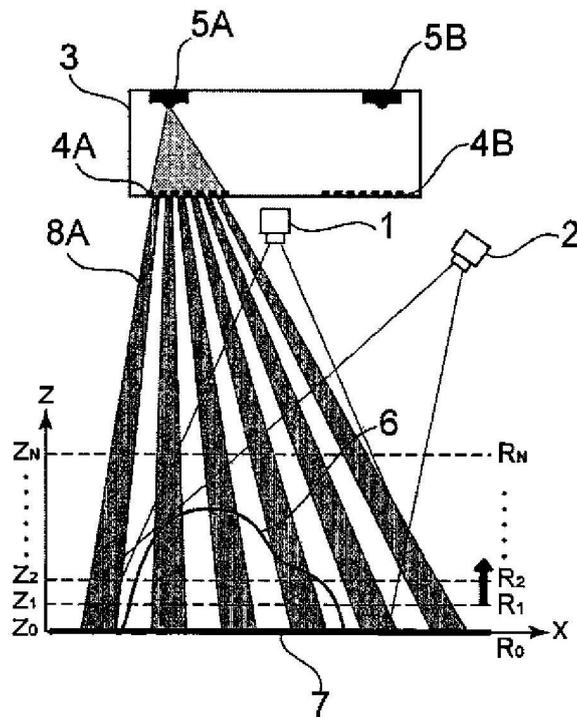


FIG. 4

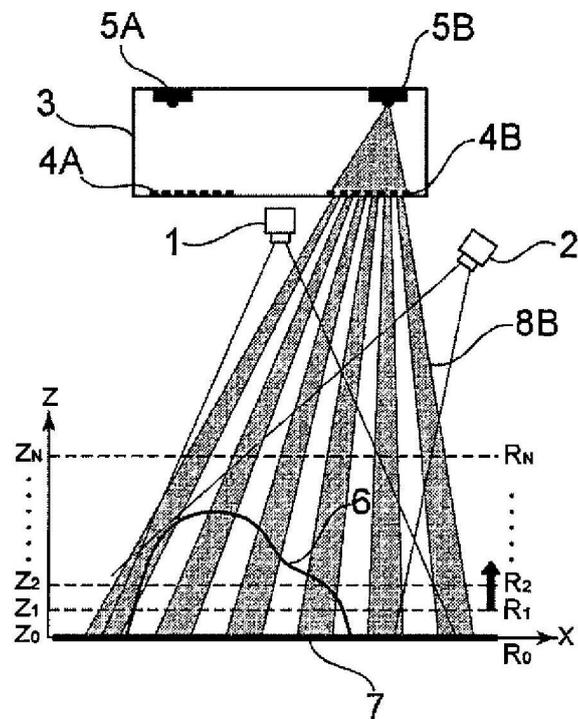


FIG. 5

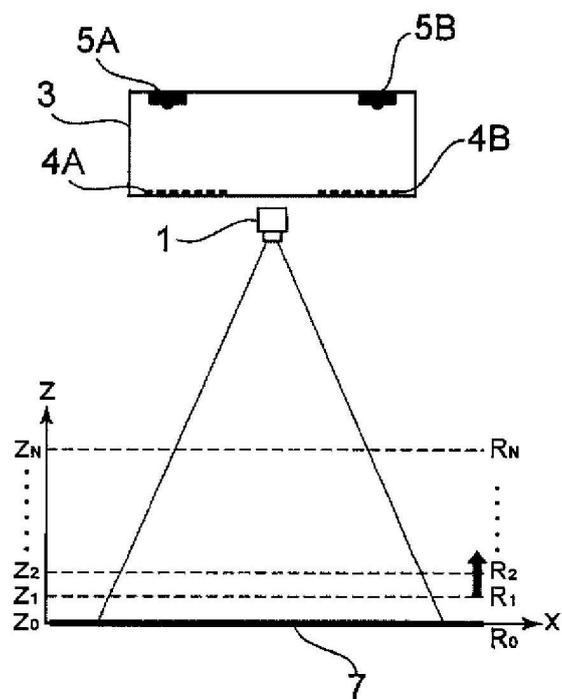


FIG. 6

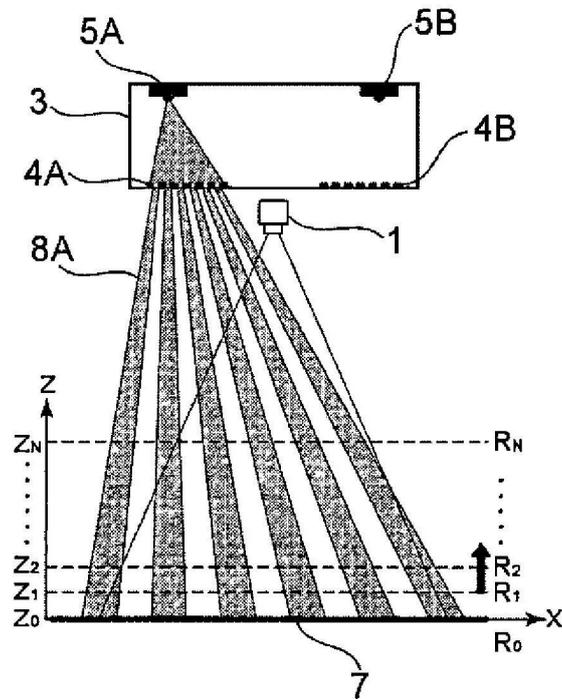


FIG. 7

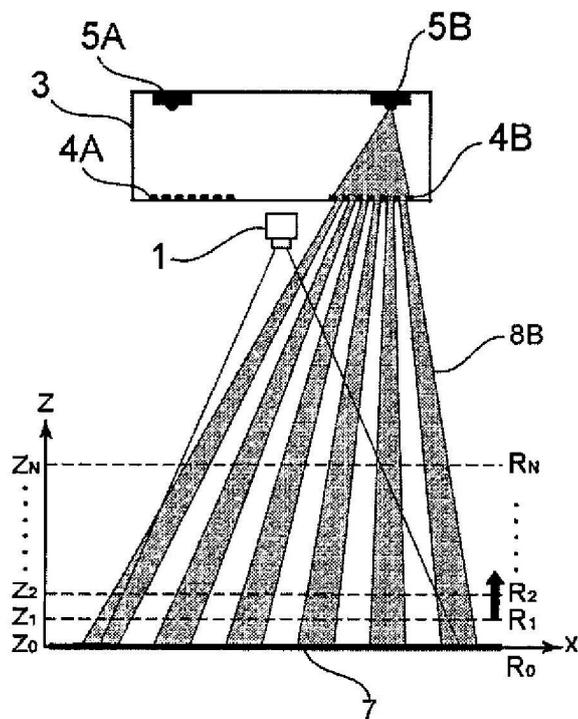


FIG. 8

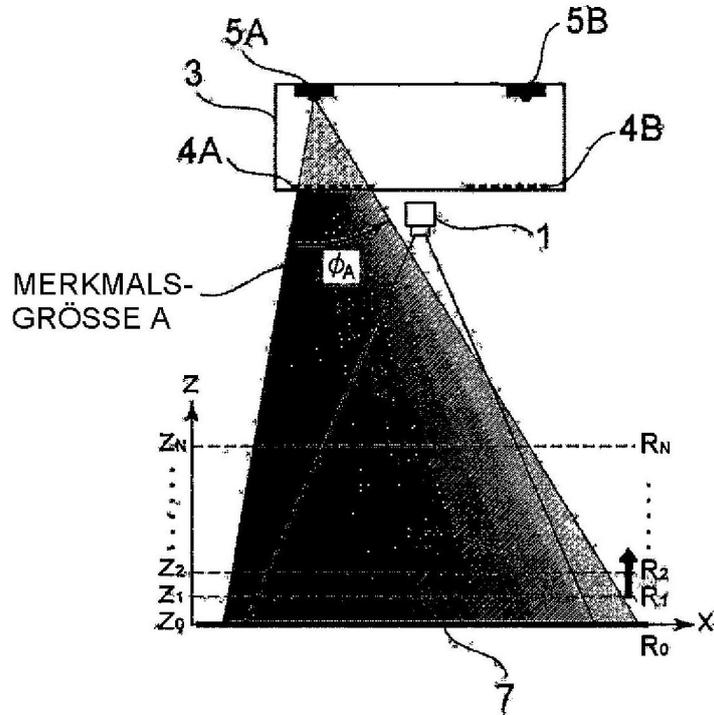


FIG. 9

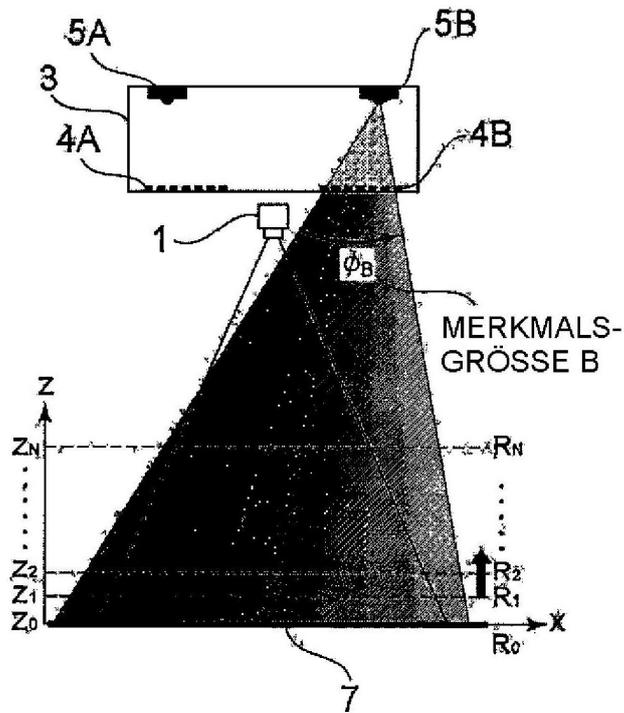


FIG. 10

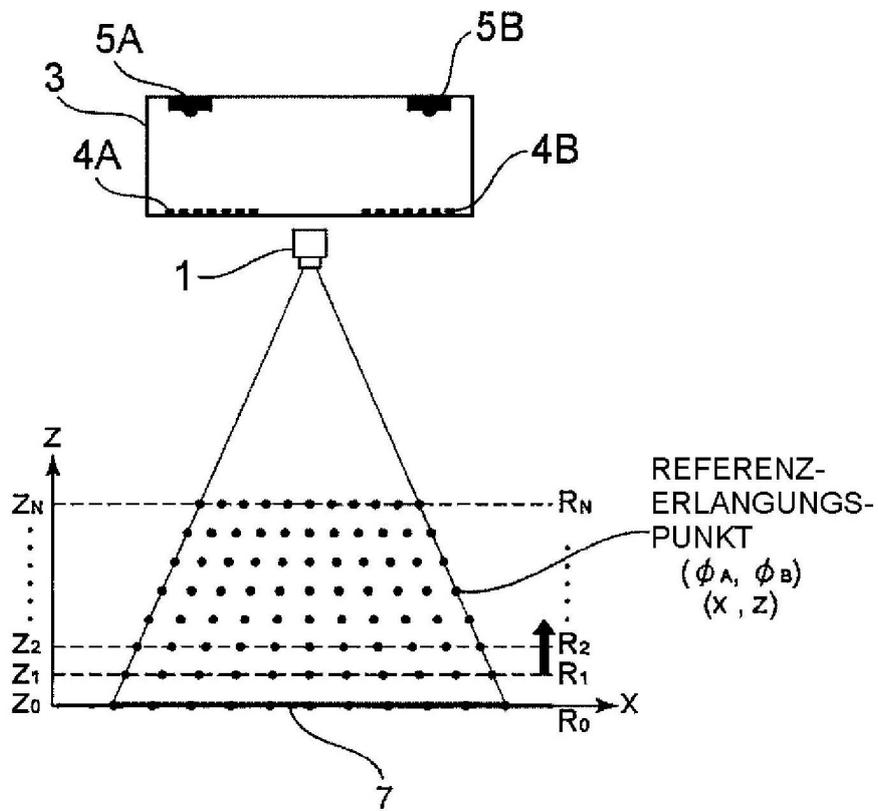


FIG. 11

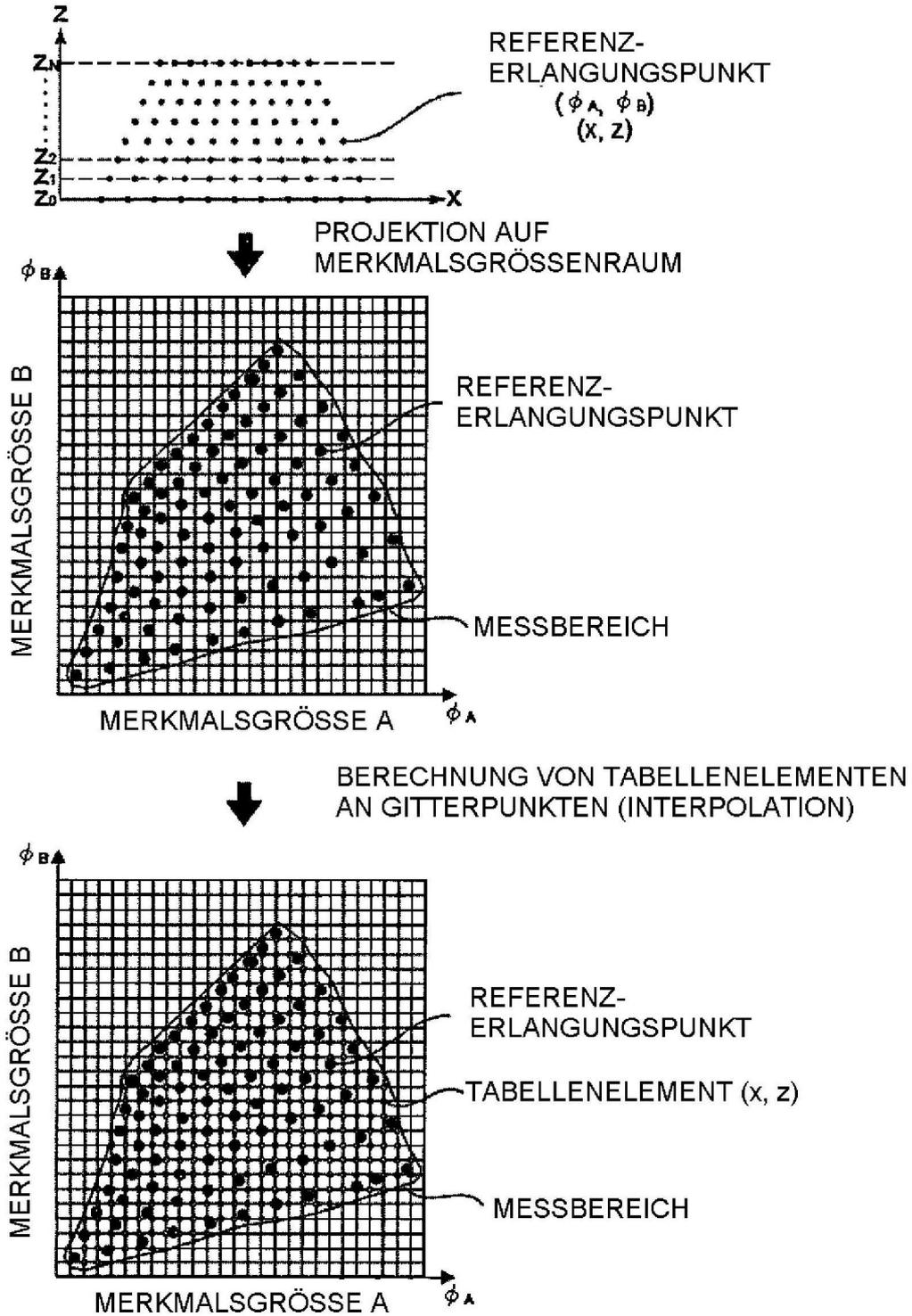


FIG. 12

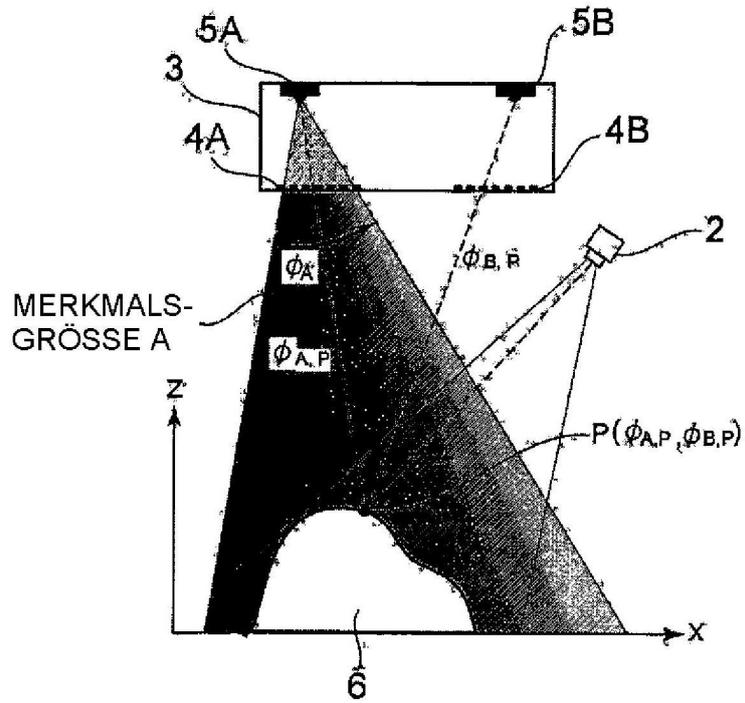


FIG. 13

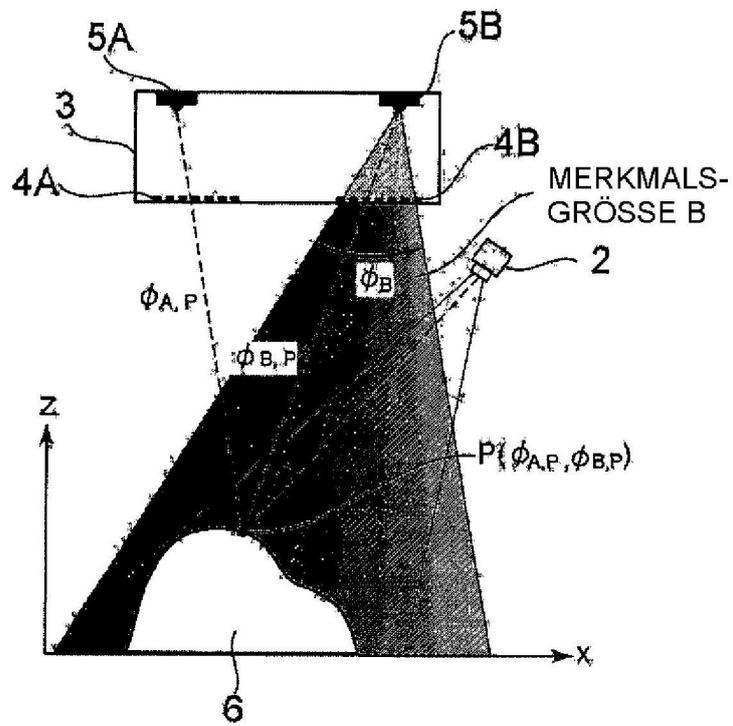


FIG. 14

AUSLESEN DER KOORDINATEN
DES PUNKTS P

AUSLESEN AUS DEM AM
NÄCHSTEN LIEGENDEN
TABELLELEMENT
(X'_P, Z'_P)

INTERPOLATION VON DATEN
IN TABELLELEMENT IN
DER UMGEBUNG
(X_P, Z_P)

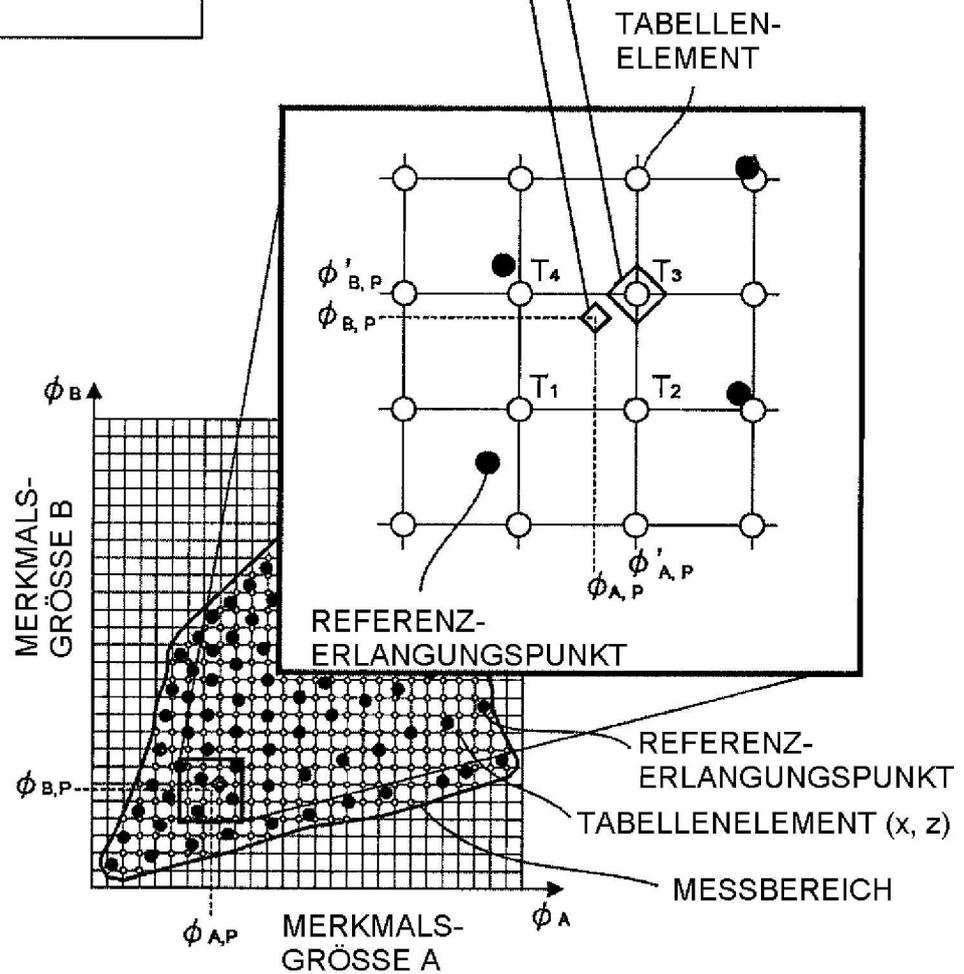


FIG. 15

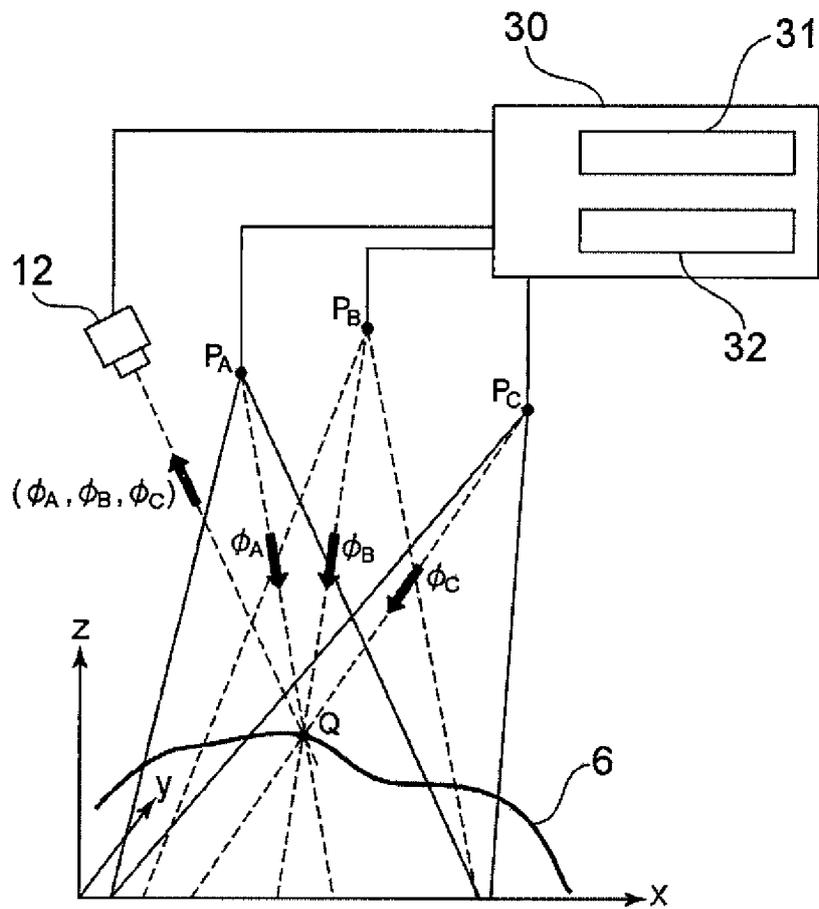
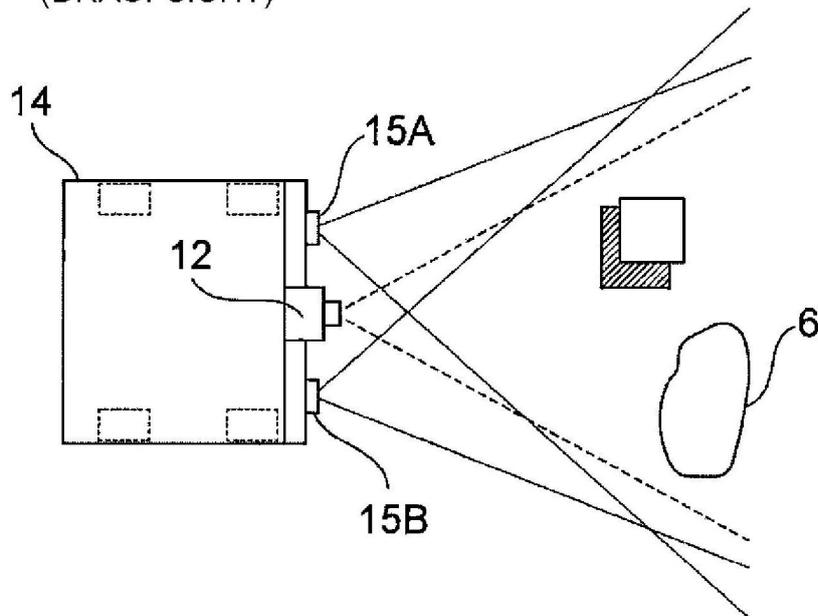


FIG. 16

(DRAUFSICHT)



(SEITENANSICHT)

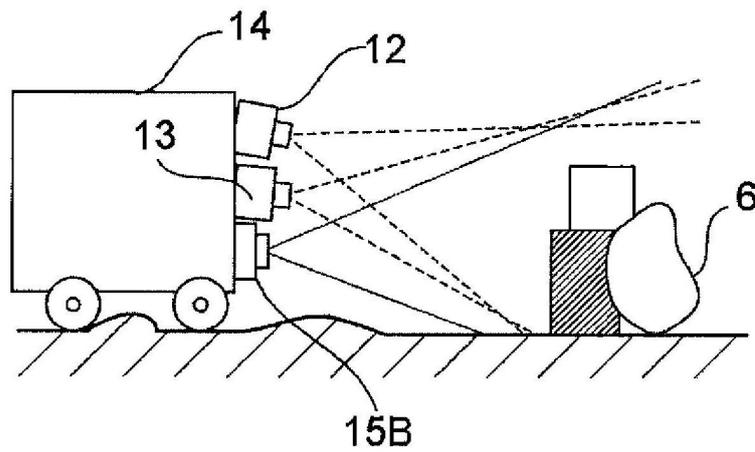


FIG. 17

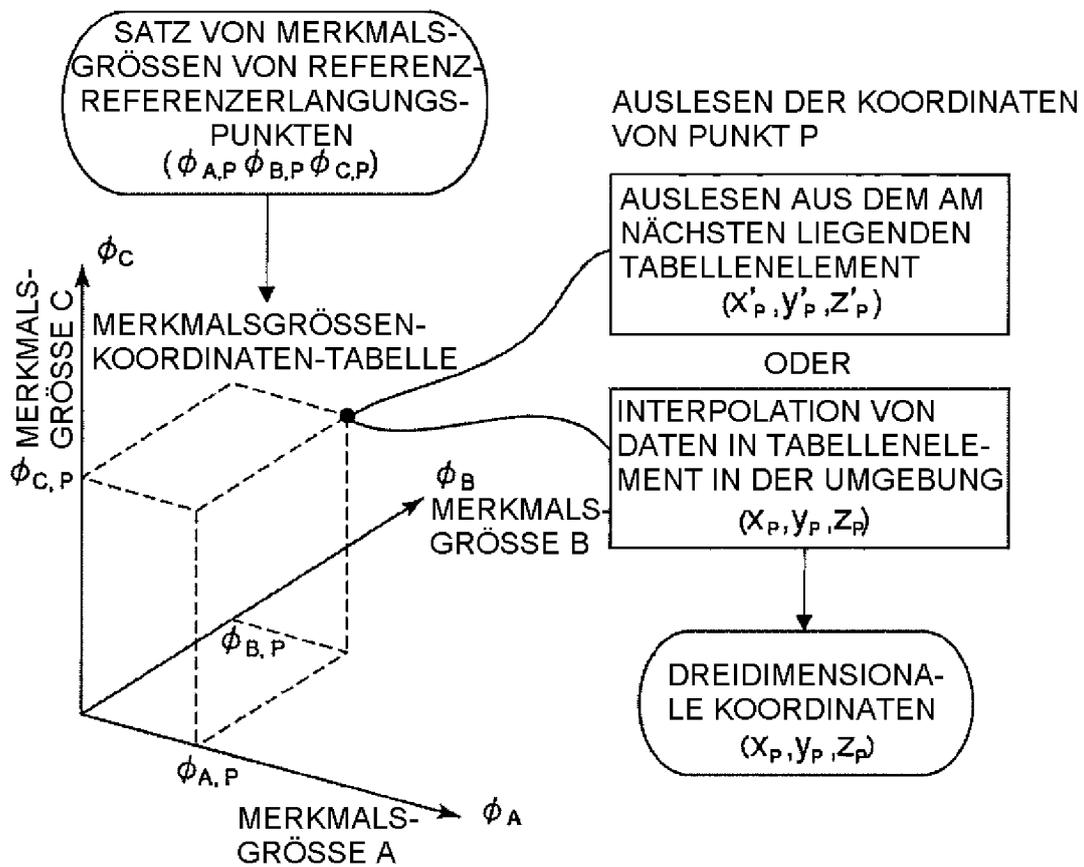


FIG. 18

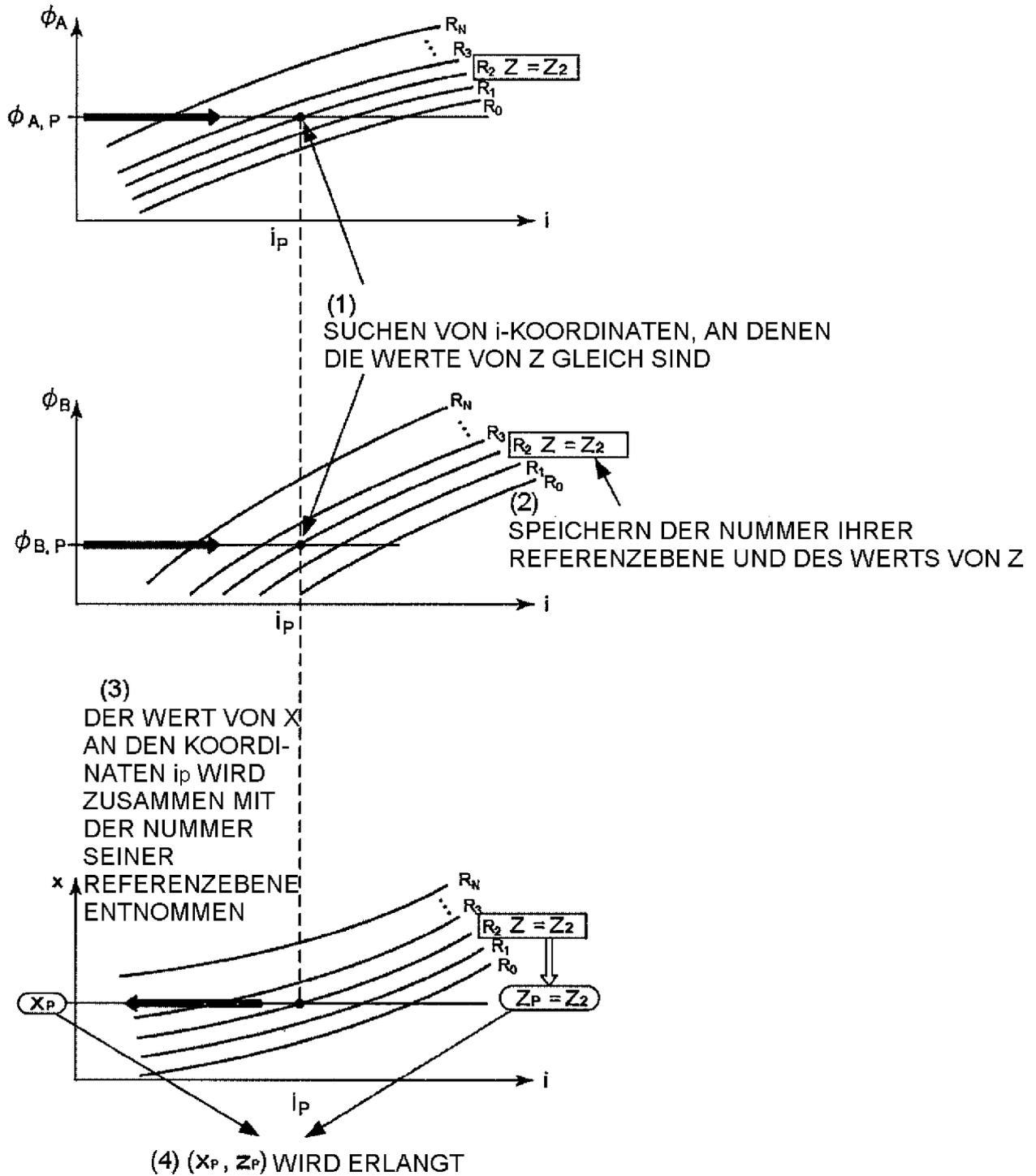
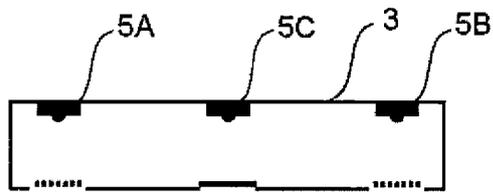


FIG. 19

(DRAUFSICHT)



(VORDERANSICHT)

(SEITENANSICHT)

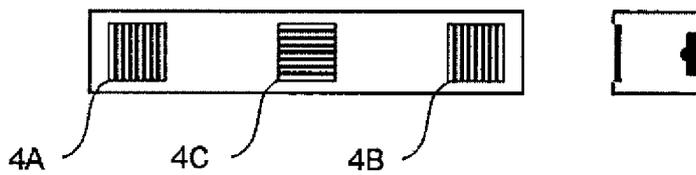
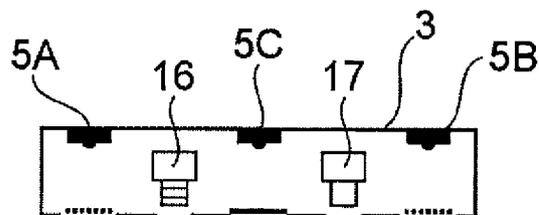


FIG. 20

(DRAUFSICHT)



(VORDERANSICHT)

(SEITENANSICHT)

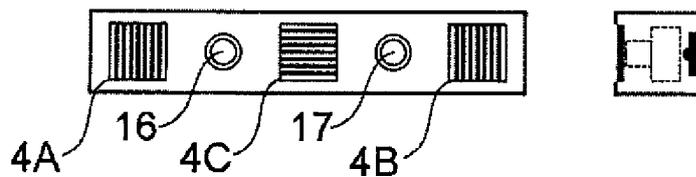


FIG. 21

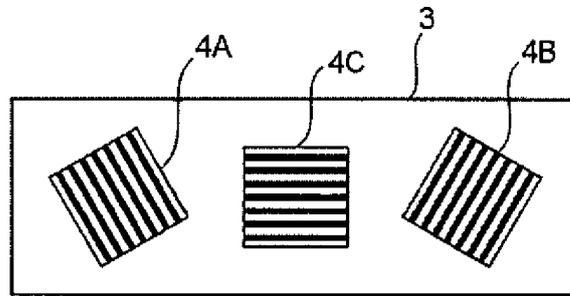


FIG. 22

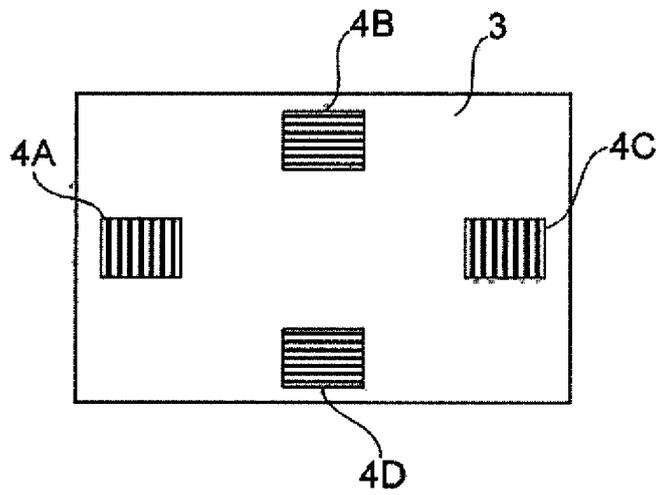


FIG. 23

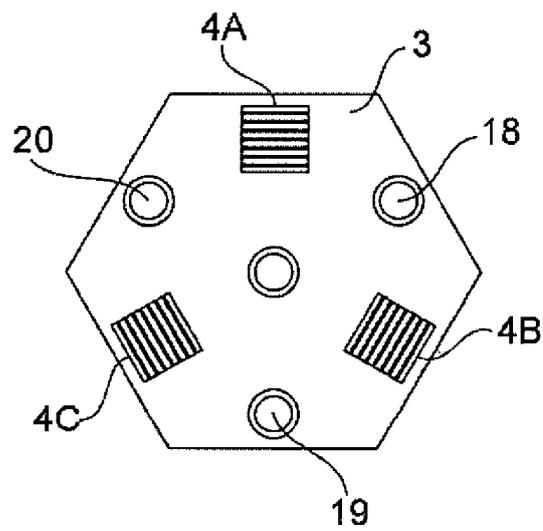


FIG. 24

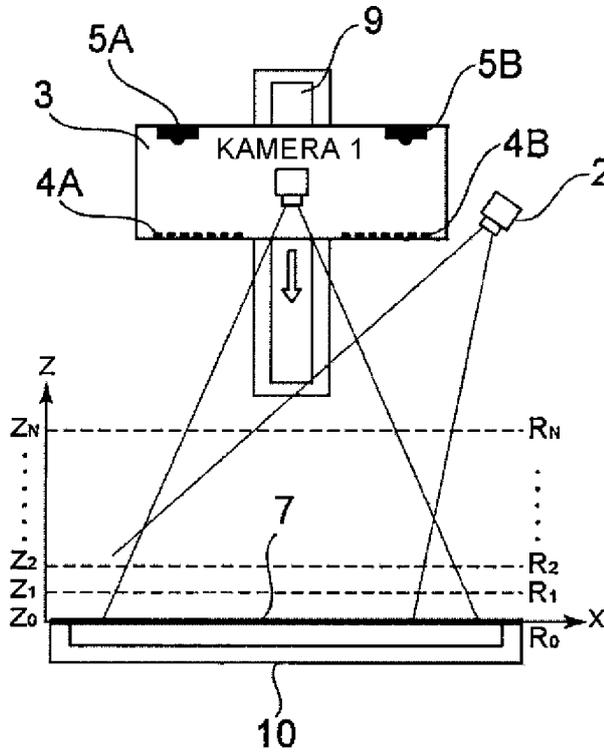


FIG. 25

