



(10) **DE 10 2016 208 049 A1** 2017.01.12

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 208 049.0**

(22) Anmeldetag: **10.05.2016**

(43) Offenlegungstag: **12.01.2017**

(51) Int Cl.: **G01B 11/25** (2006.01)
G01B 11/24 (2006.01)

(66) Innere Priorität:

10 2015 212 843.1 09.07.2015

(71) Anmelder:

INB Vision AG, 39120 Magdeburg, DE

(74) Vertreter:

**Patent- und Rechtsanwälte ULLRICH &
NAUMANN PartG mbB, 69115 Heidelberg, DE**

(72) Erfinder:

**Wiest, Hagen, 39112 Magdeburg, DE; Schmidt,
Wolfram, 06463 Meisdorf, DE; Wagner, Robert,
94127 Neuburg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

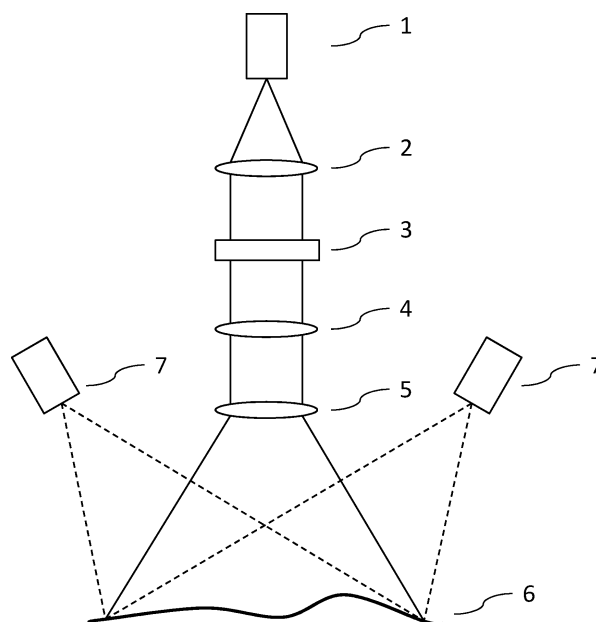
DE	11 2009 001 652	T5
DE	11 2012 002 943	T5
US	2004 / 0 046 966	A1
US	2005 / 0 057 810	A1
US	2008 / 0 165 341	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Bilderfassung einer vorzugsweise strukturierten Oberfläche eines Objekts**

(57) Zusammenfassung: Im Hinblick auf eine schnelle und sehr genaue Rekonstruktion eines Objekts sind eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bilderfassung einer vorzugsweise strukturierten Oberfläche eines Objekts (6) bereitgestellt, mit mindestens einer Musterprojektionseinheit zur Beleuchtung des Objekts (6) und mindestens einer Abbildungseinheit (7) zur Aufnahme von Bildern projizierter Muster, wobei eine zeitliche und/oder räumliche Auswertung aufgenommener Bilder oder Bildfolgen zur Rekonstruktion der Oberfläche erfolgt. Die mindestens eine Musterprojektionseinheit ist zur Erzeugung von Mustern unter Verwendung einer Beugung von Licht an einem optischen Gitter ausgebildet. Des Weiteren ist das Verfahren zur Bilderfassung dadurch gekennzeichnet, dass anhand der zeitlichen und/oder räumlichen Auswertung der aufgenommenen Bilder oder Bildfolgen über Algorithmen korrespondierende Bildpunkte ermittelt werden, die gemeinsam mit einer Abbildungsfunktion eine Triangulation von Oberflächenpunkten ermöglichen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bilderfassung einer vorzugsweise strukturierten Oberfläche eines Objekts, mit mindestens einer Musterprojektionseinheit zur Beleuchtung des Objekts und mindestens einer Abbildungseinheit zur Aufnahme von Bildern projizierter Muster, wobei eine zeitliche und/oder räumliche Auswertung aufgenommener Bilder oder Bildfolgen zur Rekonstruktion der Oberfläche erfolgt.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Bilderfassung einer vorzugsweise strukturierten Oberfläche eines Objekts, wobei die Oberfläche durch mindestens eine Musterprojektionseinheit beleuchtet wird, wobei Bilder projizierter Muster durch mindestens eine Abbildungseinheit aufgenommen werden und wobei eine zeitliche und/oder räumliche Auswertung aufgenommener Bilder oder Bildfolgen zur Rekonstruktion der Oberfläche erfolgt.

[0003] Vorrichtungen und Verfahren der eingangs genannten Art sind aus der Praxis bekannt und existieren in unterschiedlichen Ausführungsformen.

[0004] Grundsätzlich gibt es zum einen verschiedene optische Sensoren oder Vorrichtungen zur dreidimensionalen Erfassung einer Oberflächenform. Insbesondere Sensoren mit aktiver Musterprojektion nehmen hier eine zentrale Stellung ein, da mit diesen Sensoren Höhenauflösungen im Bereich weniger Mikrometer, μm , möglich sind. Typische und erprobte Ansätze sind Streifenprojektionsverfahren – deterministische Musterfolgen –, sowie die Projektion statistischer Musterfolgen. Diese Ansätze sind unabhängig davon, ob eine linienhafte oder flächenhafte Projektion erfolgt.

[0005] Weitere Ansätze für optische 3D-Sensoren basieren auf Laufzeitverfahren, z.B. Photonenmischdetektoren (PMD-Sensoren) in TimeOfFlight-Kameras, oder statischer Musterprojektion, z.B. Light Coding Technology von der Firma PrimeSense, Projektion einer künstlichen Textur von der Firma Ensense, welche zwar zum Teil sehr schnell 3D-Daten liefern können, jedoch in Bezug auf Auflösung und Genauigkeit gegenüber 3D-Sensoren mit aktiver Musterprojektion Nachteile haben.

[0006] Optische Sensoren nach dem Prinzip der aktiven Musterprojektion bestehen aus einer oder mehreren Musterprojektionseinheiten und einer oder mehreren Abbildungseinheiten. Die Musterprojektionseinheit wiederum setzt sich zusammen aus mindestens einer Lichtquelle, einer entsprechend angepassten Beleuchtungsoptik, einem Lichtmodulator, z.B. Display, und der Projektionsoptik.

[0007] Aktuelle Entwicklungen sind zum Beispiel ein 3D-Zeilensensor mit strukturierter Beleuchtung – Universität Magdeburg/INB; DE 10 2013 212 409 A1 – und 3D-Sensoren auf Basis zufälliger Musterprojektion mit Laser-Speckle – Uni Jena; DE 10 2012 002 161 A1.

[0008] Aus der Aufnahme der projizierten Muster wird unter Nutzung von Phasenauswerteverfahren oder zeitlichen Korrelationsverfahren die Oberflächenform berechnet.

[0009] Für das Erreichen einer hohen Messgenauigkeit und für die Eindeutigkeit der Messergebnisse sind Musterfolgen von typischerweise 4 bis 10 einzelnen Mustern für ein 3D-Bild notwendig, woraus sich relativ lange Zeiten für die Bildaufnahme ergeben. Während dieser Zeit darf bei Sensoren mit flächenhafter Projektion keine Bewegung des Sensors in Bezug zur Oberfläche stattfinden. Bei Sensoren mit linienhafter Projektion kann die Oberfläche entsprechend der Bewegung des Sensors über die Oberfläche zusammengesetzt werden.

[0010] Die Zeiten für die Bildaufnahme bei den optischen Sensoren sind zum einen abhängig von der Projektionsgeschwindigkeit und der Geschwindigkeit der Abbildungseinheiten und zum anderen von der Lichtmenge, die über die Musterprojektionseinheit auf das Messobjekt und davon wieder nutzbar in die Abbildungseinheiten gebracht werden kann. Die Empfindlichkeit der Abbildungseinheiten spielt hier ebenfalls eine signifikante Rolle.

[0011] Während bei den Abbildungseinheiten inzwischen relativ hohe Abbildungsgeschwindigkeiten realisiert werden – Zeilenkameras bis zu mehreren hundert kHz; Matrixkameras bis zu mehreren hundert Hz –, sind die typisch verwendeten Projektionseinheiten auf Geschwindigkeiten von höchstens 1900 Hz (DMD, Digital Micromirror Device) beschränkt. Für binäre Musterprojektion erreichen z.B. DMDs von TexasInstruments zwar eine Bildwiederholfrequenz von bis zu 32 kHz binär, siehe Datenblatt TI DLP7000 – 0.7 2x LVDS Type-A DMD. Da jedoch die Projektion von z.B. sinusartigen Streifenmustern nicht-binäre Grauwerte erfordert, wird die erreichbare Bildwechselfrequenz durch die dann notwendige Pulsweitenmodulation für die Darstellung eines Bildes deutlich herabgesetzt.

[0012] Die Notwendigkeit einer hohen Beleuchtungsintensität begrenzt ebenfalls die Bildaufnahme-geschwindigkeit des optischen Sensors. LEDs können zwar prinzipiell mit hohen Taktraten geschaltet werden, die verwendeten Abbildungseinheiten sind jedoch meist zu unempfindlich, um bei den dann sehr kurzen Belichtungszeiten ausreichend Licht für die Bilderfassung zu detektieren.

[0013] Musterprojektionseinheiten mit einer laserbasierten Lichtquelle können tendenziell eine deutlich größere Lichtmenge projizieren. Vor allem bei Bildmodulatoren für die Streifenprojektion basierend auf LCD oder LCoS ist jedoch die erlaubte Lichtmenge technologisch begrenzt, da ein signifikanter Anteil der eingebrachten Energie als Verlustleistung im Element verbleibt. Dies beeinträchtigt die korrekte Funktion und kann im Extremfall zur Zerstörung führen.

[0014] Bild- bzw. Lichtmodulatoren, die aus der laserbasierten Lichtquelle stochastische Muster, z.B. in Form von objektiven Speckle, erzeugen, haben dieses Problem in dieser Form nicht. Hier haben jedoch Tests gezeigt, dass sich die prinzipbedingte gaussförmige Verteilung der Intensität über das Messfeld sowie die Häufigkeitsverteilung der Helligkeit – wenige sehr helle Spots und viele relativ dunkle Bereiche – negativ auf die Güte der Messergebnisse auswirkt und im Vergleich zur Projektion deterministischer Musterfolgen schlechtere Werte liefern. Grundsätzlich kann man mit deterministischen Musterfolgen einen gleichbleibenden Kontrast über den gesamten Messbereich erreichen. Bei statistischen Verfahren unterliegen auch der Kontrast und damit das Messergebnis einer ortsabhängigen Statistik.

[0015] Projektoren, die die notwendigen Musterfolgen durch mechanische Veränderung des Musters erzeugen, sind sehr schnell. Die Änderung der Muster erfolgt z.B. entweder durch das Rotieren einer Scheibe, auf welcher mehrere statische Muster aufgebracht sind – MiniRot-Projektor der Firma ABW – oder über einen motorisch bewegten Umlenkspiegel – Uni Jena, DE10 2011 121 696 A1. Diese Art von Projektoren sind jedoch entweder auf die vorhandenen statischen Muster beschränkt – rotierende statische Muster – oder erzeugen relativ ähnliche statistische Muster – Umlenkspiegel –, welche die Korrelation innerhalb der Bildfolgen erschweren.

[0016] Eine weitere Gruppe von Lichtmodulatoren bzw. Beleuchtungssystemen basiert auf einem LED-Array und der Erzeugung der Muster durch die Projektionsoptik, wobei die Projektionsoptik aus Linsen-Arrays besteht. Aktuelle Arbeiten dazu sind beispielsweise die LED-basierte Multiapertur-Musterprojektion vom Fraunhofer IOF Jena und eine an der Uni Magdeburg entwickelte Vorrichtung zur Generierung von Lichtmustern mit Hilfe von Zylinderlinsen, siehe DE 10 2013 002 399 A1. Diese Beleuchtungssysteme können zwar ebenfalls sehr schnell Muster projizieren, da sie nur von der möglichen Schaltfrequenz der LEDs abhängen, die projizierten Muster sind jedoch nicht oder nur in engen Grenzen veränderbar. Weiterhin lassen sich nur in einem begrenzten Tiefenschärfebereich gezielt Muster erzeugen und die Muster weisen zum Teil einen geringen Kontrast auf.

[0017] Bei den bekannten Vorrichtungen und Verfahren zur Bilderfassung einer vorzugsweise strukturierten Oberfläche eines Objekts, insbesondere bei 3D-Sensoren, ist problematisch, dass es bislang noch keine entsprechende Vorrichtung und noch kein entsprechendes Verfahren gibt, wonach eine sehr schnelle Projektion von beliebigen deterministischen Musterfolgen mit analoger Grauwertdarstellung innerhalb eines Musters und einer deutlichen Veränderung der Musterinhalte von Muster zu Muster, eine Bereitstellung einer hohen Energiedichte, um sehr kurze Bildaufnahmezeiten zu realisieren, und eine homogene Helligkeitsverteilung über die gesamte Projektionsfläche ermöglicht sind.

[0018] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bilderfassung der zuvor genannten Art bereitzustellen, wonach ein Objekt sehr schnell und mit hoher Genauigkeit mit konstruktiv einfachen Mitteln insbesondere dreidimensional rekonstruiert werden kann.

[0019] Erfindungsgemäß wird die voranstehende Aufgabe einerseits durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Danach ist die Vorrichtung dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Musterprojektionseinheit zur Erzeugung von Mustern unter Verwendung einer Beugung von Licht an einem optischen Gitter ausgebildet ist.

[0020] Andererseits wird die voranstehende Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 10 gelöst. Danach ist das Verfahren dadurch gekennzeichnet, dass anhand der zeitlichen und/oder räumlichen Auswertung der aufgenommenen Bilder oder Bildfolgen über Algorithmen korrespondierende Bildpunkte ermittelt werden, die gemeinsam mit einer Abbildungsfunktion eine Triangulation von Oberflächenpunkten ermöglichen.

[0021] In erfindungsgemäßer Weise ist zunächst erkannt worden, dass durch eine geschickte Wahl der Ausbildung der mindestens einen Musterprojektionseinheit die voranstehende Aufgabe auf überraschend einfache Weise gelöst wird. Hierzu ist in weiter erfindungsgemäßer Weise die mindestens eine Musterprojektionseinheit derart ausgebildet, dass sie Muster unter Verwendung einer Beugung von Licht an einem optischen Gitter erzeugt. Dabei können Grauwert-Muster in hoher Geschwindigkeit erzeugt werden, woraus sich insgesamt eine sehr schnelle Rekonstruktion des Objekts mit sehr hoher Genauigkeit ergibt. In verfahrensmäßiger Hinsicht können anhand der zeitlichen und/oder räumlichen Auswertung der aufgenommenen Bilder oder Bildfolgen korrespondierende Bildpunkte über Algorithmen ermittelt werden, wobei diese ermittelten Bildpunkte gemeinsam mit einer Abbildungsfunktion eine Triangulation von Oberflächenpunkten ermöglichen.

[0022] Im Ergebnis ist mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung und dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bilderfassung einer vorzugsweise strukturierten Oberfläche eines Objekts ein Objekt sehr schnell und mit hoher Genauigkeit mit konstruktiv einfachen Mitteln insbesondere dreidimensional rekonstruierbar.

[0023] Hinsichtlich einer besonders genauen Rekonstruktion der Oberfläche kann die Rekonstruktion der Oberfläche mittels Phasenauswerteverfahren und/oder zeitlichen Korrelationsverfahren durchgeführt werden. Aus der Aufnahme der projizierten Muster kann somit bei zusätzlicher Kenntnis der Vorrichtungsanordnung die Oberflächenform durch Triangulation auf einfache Weise berechnet werden. Dabei kann es sich in weiter besonders einfacher Weise um bekannte Phasenauswerteverfahren und/oder zeitliche Korrelationsverfahren handeln.

[0024] Im Hinblick auf eine in der Praxis besonders wirksame und effektive mindestens eine Musterprojektionseinheit kann die Musterprojektionseinheit mindestens einen MEMS-Lichtmodulator aufweisen. Dieser Lichtmodulator moduliert das Licht durch Beugung an einem optischen Gitter.

[0025] Bei einer konkreten vorteilhaften Ausgestaltung kann der MEMS-Lichtmodulator elektrostatisch auf- und abbewegbare oder hin- und herbewegbare Metallstreifen und/oder Metallplatten aufweist. Diese Bewegung der Metallstreifen oder Metallplatten erfolgt, um jedes Pixel zwischen Gitterfunktion und reflektierendem Spiegel beliebig positionieren zu können.

[0026] Je nach Anwendungsfall kann eine Beugung 0. Ordnung oder 1. Ordnung im Rahmen der mindestens einer Musterprojektionseinheit genutzt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Beugung 0. Ordnung einen recht geringen Kontrast zwischen „an“ und „aus“ aufweist und dass für die Nutzung der Beugung 1. Ordnung die Abbildungsoptik komplexer auszuführen ist als bei einer Anordnung mit einer Beugung 0. Ordnung.

[0027] In besonders einfacher Weise kann ein vorgegebener analoger Grauwert durch Anlegen einer entsprechenden analogen Steuerspannung oder entsprechender analoger Steuerspannungen, vorzugsweise je Pixel, darstellbar sein. Dies kann bei einer gewählten Musterprojektionseinheit durch lediglich einen Schritt erfolgen, woraus sich Geschwindigkeitsvorteile gegenüber anderen Systemen ergeben.

[0028] In weiter vorteilhafter Weise kann die mindestens eine Musterprojektionseinheit einen auf linienhafte oder eindimensionale Projektion ausgelegten Aufbau aufweisen. Dies erlaubt bei der Anwendung beispielsweise in einem zeilenbasierten 3D-Sensor eine sehr hohe Geschwindigkeit des Betriebs im Ver-

gleich mit anderen Typen von Projektionseinheiten. Dabei kann ein Displayelement nur eine Zeile aufweisen. Zur Erfassung von flächenhaften Gebilden wird dann die fortlaufende Erfassung einer Zeile in Kombination mit einer definierten Relativbewegung zwischen Messobjekt und Sensor verwendet

[0029] Auf der Basis der erfindungsgemäßen Vorrichtung können unterschiedliche Anordnungen von 3D-Sensoren aufgebaut werden. Dabei kann ein 3D-Zeilensensor oder ein 3D-Matrixsensor gebildet werden. Andererseits ist auch eine Anwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung in der Deflektometrie von großem Vorteil, wobei hier verfahrensbedingt keine Projektionsoptik für die Abbildung auf das zu messende Objekt genutzt wird, sondern beispielsweise eine Mattscheibe oder ähnliches erforderlich ist, auf welche die Musterprojektionseinheit die Muster projizieren kann.

[0030] Bei einer konkreten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann die mindestens eine Musterprojektionseinheit eine monochromatische Lichtquelle, eine Weißlichtquelle oder eine polychromatische Lichtquelle aufweisen. Bei der Auswahl der Lichtquelle ist auf den jeweiligen Anwendungsfall abzustellen. In weiter vorteilhafter Weise kann die mindestens eine Musterprojektionseinheit eine Optik zur Aufweitung des erzeugten Lichts auf eine Höhe und Breite eines Projektionsdisplays aufweisen. Eine durch die Aufweitung entstehende Inhomogenität der Beleuchtung kann durch eine entsprechende pixelweise Kalibrierung des Projektionsdisplays korrigiert werden.

[0031] Die vorliegende Erfindung bietet eine Kombination von mindestens einer Musterprojektionseinheit und mindestens einer Abbildungseinheit, mit der das Objekt sehr schnell und ohne Einbußen bei der Genauigkeit der 3D-Rekonstruktion im Vergleich zu bereits bekannten Vorrichtungen dreidimensional vermessen werden kann.

[0032] Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung und dem erfindungsgemäßen Verfahren sind eine sehr schnelle Projektion von beliebigen deterministischen Musterfolgen mit analoger Grauwertdarstellung innerhalb eines Musters und einer deutlichen Veränderung der Musterinhalte von Muster zu Muster, eine Bereitstellung einer hohen Energiedichte, um sehr kurze Bildaufnahmezeiten zu realisieren, und eine homogene Helligkeitsverteilung über die gesamte Projektionsfläche ermöglicht.

[0033] Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bilderfassung einer vorzugsweise strukturierten Oberfläche eines Objekts bereitgestellt, unter Verwendung mindestens einer Abbildungseinheit zur Aufnahme der Oberfläche, wobei die Oberfläche durch

mindestens eine Musterprojektionseinheit strukturiert beleuchtet wird und wobei eine zeitliche und/oder räumliche Auswertung aufgenommener Bildfolgen zur Rekonstruktion der Oberfläche erfolgt und wobei anhand einer zeitlichen und/oder räumlichen Auswertung der einzelnen Bilder über Algorithmen korrespondierende Bildpunkte ermittelt werden, die gemeinsam mit der Abbildungsfunktion eine Triangulation von Oberflächenpunkten ermöglichen.

[0034] Eine Abbildungsfunktion stellt mathematisch eine Zuordnung von 3D-Weltkoordinaten zum Koordinatensystem eines Kamerabildes oder des Bildes einer Abbildungseinheit dar. So kann für jede 3D-Koordinate bzw. jeden Raumpunkt berechnet werden, an welcher Stelle sich dieser Punkt im Kamerabild oder Bild einer Abbildungseinheit befindet. Diese Zuordnung wird insbesondere durch die geometrischen Abmessungen eines Kamerasensors – Größe und Anzahl der Pixel – sowie die Kennwerte des zu einer Kamera gehörenden Objektivs – Brennweite, Verzeichnung – bestimmt.

[0035] Bei einer weiter vorteilhaften Ausgestaltung erzeugt die mindestens eine Musterprojektionseinheit die Muster unter Verwendung der Beugung des Lichts an einem optischen Gitter.

[0036] Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die nachgeordneten Ansprüche und andererseits auf die nachfolgende Erläuterung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung des bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Zeichnung werden auch im Allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigt die einzige

[0037] Fig. in einer schematischen Darstellung ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Bilderfassung einer vorzugsweise strukturierten Oberfläche eines Objekts.

[0038] Gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erfolgt eine 3D-Messung von Objekten, wobei das Ausführungsbeispiel eine Kombination einer oder mehrerer Abbildungs- und Musterprojektionseinheiten aufweist, wobei die Musterprojektionseinheit oder Musterprojektionseinheiten MEMS-Lichtmodulatoren aufweisen, welche das Licht durch Beugung an einem optischen Gitter modulieren, z.B. GLV – Grated Light Valve und PLV – Planar Light Valve der Fa. Silicon Light Machine, CA; WO 1996041217 A1, WO 2005059596 A2. Hierbei werden Metallstreifen bzw. Metallplatten elektrostatisch auf- und abbewegt, um jedes Pixel zwischen Gitterfunktion und reflektierendem Spiegel beliebig

positionieren zu können. Genutzt wird entweder die Beugung 0. Ordnung oder die Beugung 1. Ordnung, wobei diese einen recht geringen Kontrast zwischen An/Aus aufweist und für die Nutzung der Beugung 1. Ordnung die Abbildungsoptik komplexer wird.

[0039] Mit einer solchen Projektionseinheit kann ein bestimmtes analoges Grauwert-Muster in einem Schritt durch Anlegen einer entsprechenden analogen Steuerspannung dargestellt werden, was einen wesentlichen Geschwindigkeitsvorteil gegenüber DMDs, LCDs oder LCoS darstellt, welche analoge Grauwert-Muster nur mit Hilfe zeitlicher Integration aufeinander folgender pulsweitenmodulierter Binär-Muster darstellen können. Weiterhin ist eine solche Projektionseinheit im Unterschied zu DMDs, LCDs oder LCoS nativ auch eindimensional, d. h. auf linienhafte oder eindimensionale Projektion ausgelegt, was für die Anwendung in einem zeilenbasierten 3D-Sensor ebenfalls eine deutlich höhere Geschwindigkeit gegenüber denkbaren Lösungen mit den anderen genannten Technologien erlaubt. Die oben beschriebene Projektionseinheit ist also die Grundlage für eine deutlich schnellere Musterprojektion und Bildaufnahme, als es mit DMDs, LCDs oder LCoS aktuell möglich ist.

[0040] Die oben beschriebenen Projektionseinheiten sind bisher eindimensional verfügbar – zweidimensionale Prototypen sind in Entwicklung – und wurden bisher ausschließlich im digitalen Offsetdruck, in der EUV-Lithografie und für die digitale Kinoprojektion konkret genutzt. Darüber hinaus werden solche Projektionseinheiten zwar als allgemein anwendbar für Verfahren der Umfelderkennung – DE10 2007 040 176 A1 – und Positionsverfolgung – US 20070268398 – beschrieben, stellen jedoch für diese Verfahren nur eine mögliche von mehreren gleichwertigen Varianten dar, wohingegen hier diese Art der Projektion essentiell für die Lösung der gestellten Aufgabe ist.

[0041] Die Nutzung als Projektionseinheit für beliebige deterministische analoge Grauwert-Muster mit einer sehr hohen Energiedichte in Kombination mit einer oder mehreren schnellen und hochauflösenden Abbildungseinheiten in einem Sensor für die 3D-Messtechnik auf Basis von Musterfolgen und zeitlichen oder örtlichen Korrelationsverfahren ist neu.

[0042] Optische Sensoren nach dem Prinzip der aktiven Musterprojektion bestehen aus einer oder mehreren Musterprojektionseinheiten und einer oder mehreren Abbildungseinheiten. Die Musterprojektionseinheit wiederum setzt sich üblicherweise zusammen aus mindestens einer Lichtquelle, einer entsprechend angepassten Beleuchtungsoptik, einem Lichtmodulator, z.B. Display, und der Projektionsoptik.

[0043] Aus der Aufnahme der projizierten Muster durch die Abbildungseinheit(en) wird unter Nutzung von Phasenauswerteverfahren oder zeitlichen Korrelationsverfahren und dem Wissen über die Sensoranordnung die Oberflächenform durch Triangulation berechnet.

[0044] Im Gegensatz zu den bisher bekannten Vorrichtungen wird als Musterprojektionseinheit ein MEMS-Lichtmodulator wie oben beschrieben genutzt, welcher das Licht durch Beugung an einem optischen Gitter moduliert.

[0045] Grundsätzlich sind mit diesen Projektionseinheiten verschiedenste Anordnungen von 3D-Sensoren vorteilhaft:

[0046] 3D-Zeilensensoren mit nur einer Projektionseinheit und nur einer Kamera bis zu zwei oder mehreren Projektionseinheiten koplanar und mit einer oder mehreren Kameras koplanar angeordnet, um z.B. höhere laterale Auflösungen oder größere Messfelder zu erreichen, sind möglich, vgl. auch WO 2014000738 A2.

[0047] 3D-Matrixsensoren können direkt mit einer oder mehreren zweidimensionalen Projektionseinheiten und einer oder mehreren Matrixkameras aufgebaut werden. Weiterhin könnte auch die Abbildung der eindimensionalen Projektionseinheit mit Hilfe spezieller Linsen, z.B. Powell Linse, Stablinse, o.ä., auf eine Fläche aufgeweitet werden.

[0048] Ebenfalls denkbar ist die Anwendung einer solchen Projektionseinheit in der Deflektometrie, wobei hier verfahrensbedingt keine Projektionsoptik für die Abbildung auf das Messobjekt genutzt wird, sondern z.B. eine Mattscheibe o.ä. notwendig ist, auf welche die Projektionseinheit die Muster projizieren kann.

[0049] Die einzige Fig. zeigt ein Ausführungsbeispiel in Form eines 3D-Zeilensensors mit einer Musterprojektionseinheit und zwei Kameras als Abbildungseinheiten.

[0050] Aus einer Laserlichtquelle **1** wird mit Hilfe entsprechender Linsen **2** eine Laserlinie mit der Breite und der Höhe des aktiven Bereiches des Projektionsdisplays **3** erzeugt und damit die Projektionseinheit beleuchtet. Die Projektionseinheit moduliert diese Laserlinie pixelweise, siehe oben. Über eine Fourieroptik **4** wird die gewünschte Beugungsordnung gefiltert und über die Projektionsoptik **5** wird die modulierte Laserlinie auf das Objekt **6** projiziert.

[0051] Mit zwei zueinander synchronisierten und kalibrierten Kameras **7** als Abbildungseinheiten wird eine bestimmte Anzahl von Bildern von den auf das Objekt projizierten Mustern aufgenommen.

[0052] Die Sequenz aus den Bildpaaren wird zur dreidimensionalen Rekonstruktion der Oberfläche des Objektes genutzt. Für die Berechnung der Oberflächenform können z.B. bei der Nutzung von Graycode- und/oder Sinusmustern die bekannten Algorithmen zur 3D-Rekonstruktion – Phasenkorrelation, Zeitkorrelation – genutzt werden. Weiterhin können auch Musterfolgen mit einer optimierten Statistik berechnet und für die Messung verwendet werden, beispielsweise Sinus-, Dreiecks- oder andere periodische Muster mit zeilenweise variierenden Phasen und/oder Periodenlängen. Beispielsweise können Folgen von Sinusmustern mit unterschiedlicher Phasenlage und unterschiedlicher Frequenz verwendet werden.

[0053] Für die Musterprojektion kann sowohl eine monochromatische Lichtquelle in einem spektralen Bereich von UV bis NIR, z.B. Laser beim GLV-Display, als auch weisses bzw. polychromatisches Licht – bei PLV-Display – verwendet werden. Die üblicherweise punktförmige Lichtquelle wird durch eine geeignete Optik idealerweise auf die Höhe und Breite des Projektionsdisplays aufgeweitet. Die durch die Aufweitung entstehende Inhomogenität der Beleuchtung kann durch eine entsprechende pixelweise Kalibrierung des Projektionsdisplays korrigiert werden.

[0054] Durch die Nutzung einer monochromatischen Lichtquelle besteht die Möglichkeit, störende Fremdlichteinflüsse mit Hilfe entsprechender Farbfilter vor den Abbildungseinheiten zu unterdrücken. Um bei Nutzung einer monochromatischen Lichtquelle subjektive Speckle zu vermeiden, können verschiedene Verfahren eingesetzt werden, beispielsweise eine Wellenlängenmodulation des Lasers (Chirp), Verwendung breitbandiger Laser, Erzeugung und Mischung einer 2. Polarisierungsrichtung und eine Abbildung über einen Diffusor.

[0055] Hinsichtlich weiterer vorteilhafter Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des erfindungsgemäßen Verfahrens wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf den allgemeinen Teil der Beschreibung sowie auf die beigefügten Ansprüche verwiesen.

[0056] Schließlich sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das voranstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Lehre lediglich zur Erörterung der beanspruchten Lehre dient, diese jedoch nicht auf das Ausführungsbeispiel eingeschränkt.

Bezugszeichenliste

- | | |
|---|---------------------------|
| 1 | Lichtquelle |
| 2 | Linse |
| 3 | Projektionsdisplay |
| 4 | Fourieroptik |
| 5 | Projektionsoptik |
| 6 | Objekt |
| 7 | Kamera, Abbildungseinheit |

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

- DE 102013212409 A1 [0007]
- DE 102012002161 A1 [0007]
- DE 102011121696 A1 [0015]
- DE 102013002399 A1 [0016]
- WO 1996041217 A1 [0038]
- WO 2005059596 A2 [0038]
- DE 102007040176 A1 [0040]
- US 20070268398 [0040]
- WO 2014000738 A2 [0046]

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bilderfassung einer vorzugsweise strukturierten Oberfläche eines Objekts (6), mit mindestens einer Musterprojektionseinheit zur Beleuchtung des Objekts (6) und mindestens einer Abbildungseinheit (7) zur Aufnahme von Bildern projizierter Muster, wobei eine zeitliche und/oder räumliche Auswertung aufgenommener Bilder oder Bildfolgen zur Rekonstruktion der Oberfläche erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Musterprojektionseinheit zur Erzeugung von Mustern unter Verwendung einer Beugung von Licht an einem optischen Gitter ausgebildet ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rekonstruktion der Oberfläche mittels Phasenauswerteverfahren und/oder zeitlichen Korrelationsverfahren durchführbar ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Musterprojektionseinheit mindestens einen MEMS-Lichtmodulator (Micro-Electromechanical System) aufweist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der MEMS-Lichtmodulator elektrostatisch auf- und abbewegbare oder hin- und herbewegbare Metallstreifen und/oder Metallplatten aufweist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Beugung 0. Ordnung oder 1. Ordnung nutzbar ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein vorgebbare analoger Grauwert durch Anlegen einer entsprechenden analogen Steuerspannung oder entsprechender analoger Steuerspannungen, vorzugsweise je Pixel, darstellbar ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Musterprojektionseinheit einen auf linienhafte oder eindimensionale Projektion ausgelegten Aufbau aufweist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung einen 3D-Zeilensensor oder 3D-Matrixsensor bildet oder in der Deflektometrie anwendbar ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Musterprojektionseinheit eine monochromatische Lichtquelle (1), eine Weißlichtquelle oder eine polychromatische Lichtquelle aufweist, wobei vorzugsweise die mindestens eine Musterprojektionseinheit eine Optik zur Aufweitung des erzeugten Lichts auf

eine Höhe und Breite eines Projektionsdisplays (3) aufweist.

10. Verfahren zur Bilderfassung einer vorzugsweise strukturierten Oberfläche eines Objekts (6), insbesondere mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Oberfläche durch mindestens eine Musterprojektionseinheit beleuchtet wird, wobei Bilder projizierter Muster durch mindestens eine Abbildungseinheit (7) aufgenommen werden und wobei eine zeitliche und/oder räumliche Auswertung aufgenommener Bilder oder Bildfolgen zur Rekonstruktion der Oberfläche erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, dass anhand der zeitlichen und/oder räumlichen Auswertung der aufgenommenen Bilder oder Bildfolgen über Algorithmen korrespondierende Bildpunkte ermittelt werden, die gemeinsam mit einer Abbildungsfunktion eine Triangulation von Oberflächenpunkten ermöglichen.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

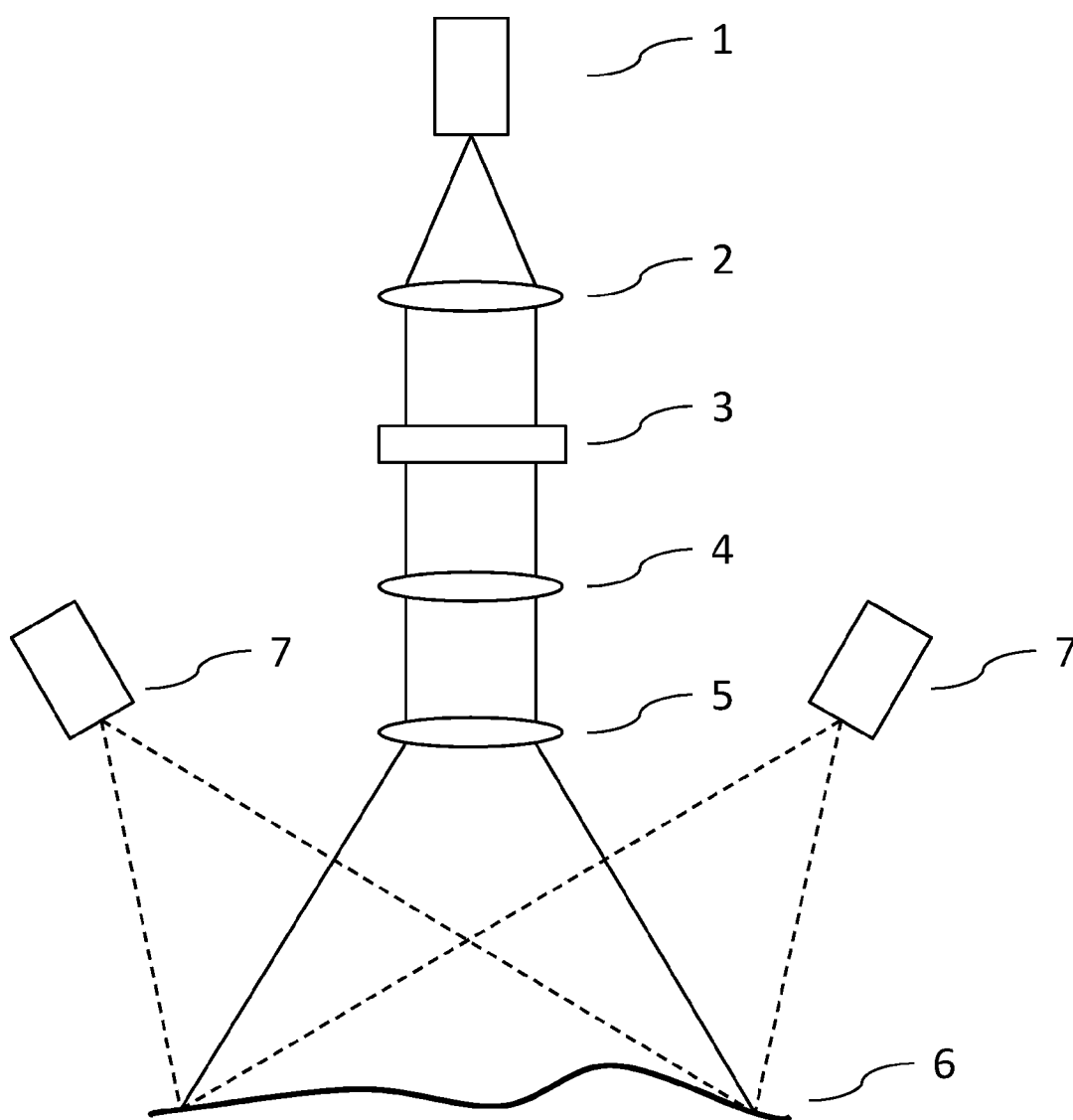


Fig.