



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 33 493 A1** 2005.02.10

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 33 493.9**

(22) Anmeldetag: **22.07.2003**

(43) Offenlegungstag: **10.02.2005**

(51) Int Cl.7: **G01B 11/25**

(71) Anmelder:

**Friemel, Jörg, 44892 Bochum, DE; Fuhrmann,  
Frank, 59519 Möhnese, DE**

(74) Vertreter:

**Schneiders & Behrendt Rechts- und  
Patentanwälte, 44787 Bochum**

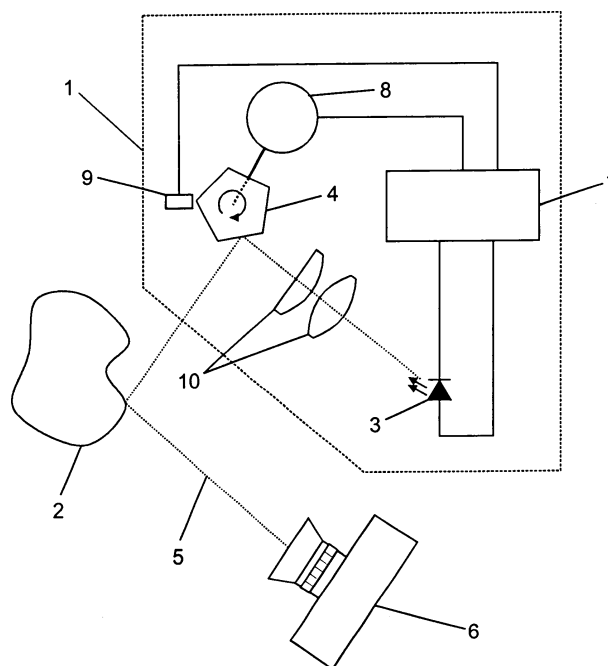
(72) Erfinder:

**gleich Anmelder**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Streifenprojektor für ein dreidimensionales Objektvermessungssystem**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Streifenprojektor (1) für ein dreidimensionales Objektvermessungssystem, mit einer Lichtquelle (3) und mit einem drehbar angetriebenen Spiegel (4), der das Licht der Lichtquelle (3) auf ein zu vermessendes Objekt (2) reflektiert. Zur Bereitstellung eines derartigen Streifenprojektors, der eine schnelle Objektvermessung gestattet und dabei einfach aufgebaut und kostengünstig herstellbar ist, schlägt die Erfindung vor, daß der Streifenprojektor (1) ein Steuerungsmittel (7) aufweist, welches die Lichtemission der Lichtquelle (3) derart steuert, daß die Lichtintensität zeitlich synchron mit der Drehbewegung des Spiegels (4) moduliert wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Streifenprojektor für ein dreidimensionales Objektvermessungssystem, mit einer Lichtquelle und mit einem drehbar angetriebenen Spiegel, der das Licht der Lichtquelle auf ein zu vermessendes Objekt reflektiert.

**[0002]** Es sind verschiedenartige optische Triangulationssensoren, zur dreidimensionalen Objektvermessung aus dem Stand der Technik bekannt.

**[0003]** Beispielsweise die US 4 794 262 beschreibt ein System zur Vermessung des dreidimensionalen Profils eines Objektes, wobei die Oberfläche des Objektes mit einem streifenförmigen Lichtstrahl sequentiell abgetastet wird. Hierzu wird das Licht einer Laserlichtquelle mittels eines astigmatischen Linsensystems zu einem Lichtfächer aufgeweitet, und dieser Lichtfächer wird sodann von einem drehbar angetriebenen Spiegel auf das zu vermessende Objekt reflektiert. Aufgrund der gleichförmigen Drehbewegung des Spiegels wird der so erzeugte Lichtstreifen gleichmäßig über das Objekt geführt. Unter einem vorgegebenen Winkel in Bezug auf die Projektionsrichtung des Lichtstreifens ist bei dem vorbekannten System ein zweidimensionaler Bildsensor angeordnet, welcher das von dem Streifenprojektor auf der Oberfläche des zu vermessenden Objektes erzeugte Lichtmuster aufnimmt. Aus der geometrischen Form, in der der Lichtstreifen in dem zweidimensionalen Bild erscheint, kann dann auf das dreidimensionale Profil des Objektes zurückgeschlossen werden. Als Hauptnachteil ergibt sich aus der sequentiellen Arbeitsweise dieses vorbekannten Objektvermessungssystems, daß der Vermessungsvorgang eine unerwünscht lange Zeit in Anspruch nimmt.

**[0004]** Eine alternative Methode zur dreidimensionalen Objektvermessung ist aus der DE 43 42 830 C1 bekannt. Gemäß dieser Druckschrift kommt ein Streifenprojektor zum Einsatz, welcher ein aus einer Mehrzahl von Lichtstreifen bestehendes Lichtmuster auf das zu vermessende Objekt projiziert. Wiederum nach dem Prinzip der Triangulation wird unter einem vorgegebenen Winkel ein zweidimensionales Bild des mit dem Streifenmuster beleuchteten Objektes aufgenommen. Damit die dreidimensionale Struktur des Objektes eindeutig und mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden kann, müssen in der Regel mehrere solcher Bilder aufgenommen werden, wobei das zu vermessende Objekt jeweils mit unterschiedlichen Streifenmustern beleuchtet wird. Der in der genannten Druckschrift beschriebene Streifenprojektor weist zur Erzeugung der streifenförmigen Lichtmuster eine spezielle Maske auf, die entweder aktiv leuchtet oder aber von einer geeigneten Lichtquelle durchstrahlt wird. Dabei ist die Maske in eine Mehrzahl von Teilflächen unterteilt, welche auf der Maske derart angeordnet sind, daß dadurch das gewünsch-

te Streifenmuster erzeugt wird. Die Teilflächen können bei dem vorbekannten Projektor beispielsweise als Elektroden einer Flüssigkristallanzeige ausgebildet sein, so daß durch entsprechendes Ansteuern der Elektroden das Lichttransmissionsverhalten der Maske veränderbar ist. Auf diese Weise kann die Maske dazu benutzt werden, verschiedene Streifenmuster, die zur dreidimensionalen Objektvermessung benötigt werden, zu generieren.

**[0005]** In der Praxis werden bei Streifenprojektoren der zuletzt skizzierten Art Flüssigkristallmasken mit Punktmatrizen eingesetzt, wie sie für die Verwendung in handelsüblichen Video- oder Datenprojektoren vorgesehen sind. Dies ergibt sich beispielsweise aus der DE 195 11 160 A1. Der Hauptnachteil solcher Streifenprojektoren besteht darin, daß die eingesetzten Flüssigkristallelemente extrem teure Komponenten sind. Die elektronische Ansteuerung der Flüssigkristallelemente, so daß diese als Maske bei der Erzeugung der gewünschten Streifenmuster wirken, ist vergleichsweise aufwendig und hat ebenfalls hohe Herstellungskosten zur Folge. Nachteilig ist ferner, daß zusammen mit den genannten Flüssigkristallelementen ausreichend leuchtstarke Leuchtmittel eingesetzt werden müssen, wie sie ebenfalls bei Video- oder Datenprojektoren üblich sind. Diese Leuchtmittel sind extrem teuer und haben außerdem eine sehr begrenzte Lebensdauer.

**[0006]** Davon ausgehend ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Streifenprojektor bereitzustellen, mit dem eine schnelle und genaue dreidimensionale Objektvermessung möglich ist. Insbesondere soll der Streifenprojektor einfach konstruiert und kostengünstig herstellbar sein.

**[0007]** Diese Aufgabe wird ausgehend von einem Streifenprojektor der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß ein Steuerungsmittel vorgesehen wird, welche die Lichtemission der Lichtquelle derart steuert, daß die Lichtintensität zeitlich synchron mit der Drehbewegung des Spiegels moduliert wird.

**[0008]** Grundidee der Erfindung ist es, das zur schnellen Objektvermessung erforderliche Lichtstreifenmuster dadurch zu erzeugen, daß die Lichtemission der Lichtquelle als Funktion der Zeit variiert wird, während das Licht von dem drehbar angetriebenen Spiegel auf das zu vermessende Objekt reflektiert wird. Durch die Rotationsbewegung des Spiegels wird der von der Lichtquelle emittierte Lichtstrahl kontinuierlich über die Oberfläche des zu vermessenden Objektes geführt. Dabei wird gemäß der Erfindung die Lichtintensität variiert, so daß ein entsprechendes Lichtmuster auf dem zu vermessenden Objekt entsteht. Dieses Lichtmuster erscheint dann in einem von dem zu vermessenden Objekt aufgenommenen zweidimensionalen Bild, wenn die entsprechende Bildaufnahmezeit bzw. Belichtungszeit ausreichend

groß gewählt wird. Die Modulation der Lichtintensität muß zeitlich synchron mit der Drehbewegung des Spiegels erfolgen, damit das so erzeugte Lichtmuster in Bezug auf das zu vermessende Objekt ortsfest ist.

**[0009]** Zweckmäßigerweise wird gemäß der Erfindung die Lichtintensität nach Maßgabe einer periodischen Intensitätsfunktion in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Spiegels moduliert. Wenn jedem Drehwinkelwert des Spiegels eine bestimmte Helligkeit der Lichtquelle zugeordnet ist, ist sichergestellt, daß das auf dem zu vermessenden Objekt erscheinende Lichtmuster stabil ist. Die Intensitätsfunktion kann beispielsweise eine Sinusfunktion, eine Dreieckfunktion, eine Sägezahnfunktion oder eine Rechteckfunktion sein. Insbesondere solche Intensitätsfunktionen, bei denen die Lichtintensität zwischen einem Minimalwert und einem Maximalwert kontinuierlich variiert, haben den Vorteil, daß auch das auf dem zu vermessenden Objekt erscheinende Leuchtmuster eine entsprechende räumliche Helligkeitsverteilung aufweist. Dies ist für eine besonders genaue dreidimensionale Objektvermessung nutzbar.

**[0010]** Eine besonders sinnvolle Weiterbildung des erfindungsgemäßen Streifenprojektors besteht darin, daß die Frequenz und/oder die Phase der periodischen Intensitätsfunktion veränderbar und vorgebar sind. Durch die Veränderung von Frequenz und/oder Phase können verschiedene Streifenmuster erzeugt werden, um dadurch eine eindeutige und genaue Objektvermessung zu gewährleisten. Es können beispielsweise zeitlich aufeinanderfolgend mehrere zweidimensionale Bilder des zu vermessenden Objektes mit jeweils unterschiedlichen Frequenz und/oder Phasenwerten der periodischen Intensitätsfunktion aufgenommen werden, wobei diese Bilder sodann unmittelbar zur Ermittlung der dreidimensionalen Struktur des Objektes nach dem Prinzip der Triangulation auswertbar sind.

**[0011]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Streifenprojektors besteht darin, daß der Drehantrieb des Spiegels einen von dem Steuerungsmittel angesteuerten Positioniermotor zur Positionierung des Spiegels gemäß einem von dem Steuerungsmittel vorgegebenen Drehwinkelwert umfaßt. Präzise arbeitende Positioniermotoren oder auch Schrittmotoren sind im Handel erhältlich und können vorteilhaft zum Antrieb des Spiegels gemäß der Erfindung genutzt werden. Der Positioniermotor positioniert den Spiegel unter einem Drehwinkelwert, der von dem Steuerungsmittel des Streifenprojektors vorgegeben wird. Gleichzeitig steuert das Steuerungsmittel die Lichtemission der Lichtquelle, so daß die Lichtintensität gemäß der gewählten Intensitätsfunktion dem Drehwinkelwert genau entspricht. Damit läßt sich die zu der Drehbewegung des Spiegels synchrone Modulation der Lichtintensität besonders einfach realisieren.

**[0012]** Zweckmäßigerweise sollte ein Sensorelement zur Ermittlung des Drehwinkels des Spiegels vorgesehen sein. Ein solches Sensorelement gestattet es, daß bei dem erfindungsgemäßen Streifenprojektor die momentane Position des Spiegels präzise erfaßt wird, so daß die Modulation der Lichtintensität der Lichtquelle entsprechend geregelt werden kann. Für die Triangulation ist es wichtig, daß die Geometrie des erzeugten Lichtmusters genau bekannt ist. Die präzise Positionierung des Spiegels ist daher entscheidend für die Funktion des Streifenprojektors.

**[0013]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn als Lichtquelle für den erfindungsgemäßen Streifenprojektor wenigstens eine Leuchtdiode verwendet wird. Leuchtdioden sind als kostengünstige und extrem langlebige Leuchtmittel im Handel erhältlich. Vorteilhaft ist insbesondere, daß moderne Leuchtdioden einen hohen Wirkungsgrad bei gleichzeitig hoher Leuchtintensität haben. Im Hinblick auf die erfindungsgemäße Verwendung haben Leuchtdioden den entscheidenden Vorteil, daß damit die Lichtintensität mit großen Frequenzen von 500 Hz oder mehr ohne weiteres moduliert werden kann. Demgegenüber sind Glühlampen zur Verwendung in einem erfindungsgemäßen Streifenprojektor oft zu träge. Außerdem ist die Lichtemission bei Leuchtdioden technisch einfach steuerbar, indem die Stromstärke in geeigneter Weise variiert wird.

**[0014]** Zweckmäßigerweise ist der drehbare Spiegel des erfindungsgemäßen Streifenprojektors als Polygonspiegel ausgebildet, wobei die Spiegelflächen parallel zur Drehachse des Spiegels angeordnet sind. Die Verwendung eines Polygonspiegels hat den Vorteil, daß die vollständige Erzeugung des Lichtmusters auf dem zu vermessenden Objekt weniger als eine vollständige Umdrehung des Spiegels erfordert.

**[0015]** Zur Erzeugung eines Lichtstreifenmusters aus dem Licht einer mehr oder weniger punktförmigen Lichtquelle, wie beispielsweise einer Leuchtdiode, empfiehlt sich der Einsatz einer astigmatischen Abbildungsoptik bei dem erfindungsgemäßen Streifenprojektor.

**[0016]** Der erfindungsgemäße Streifenprojektor ist für ein dreidimensionales Objektvermessungssystem zusammen mit einer geeigneten elektronischen Kamera zur Aufnahme von zweidimensionalen Bildern eines zu vermessenden Objektes einsetzbar. Dabei sollte der Drehantrieb des Spiegels des Streifenprojektors derart ansteuerbar sein, daß sich dieser während der Bildaufnahme kontinuierlich dreht. Wie bereits erwähnt, sollte die Bildaufnahmezeit bzw. die Belichtungszeit der Kamera so gewählt werden, daß ein vollständiges Streifenmuster auf dem zweidimensionalen Bild abgebildet wird. Hierzu sollte die Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels durch das Steue-

rungsmittel des Streifenprojektors in Abhängigkeit von der Belichtungszeit der Kamera steuerbar sein. Damit kann beispielsweise erreicht werden, daß die Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels heraufgesetzt wird, wenn die Belichtungszeit der Kamera verkürzt wird.

**[0017]** Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung erläutert:

Die Zeichnung zeigt einen Streifenprojektor, der als Ganzes mit der Bezugsziffer **1** bezeichnet ist. Der Streifenprojektor **1** wird zur Vermessung der dreidimensionalen Struktur eines Objektes **2** nach dem Prinzip der Triangulation verwendet. Bestandteil des Streifenprojektors **1** ist eine Lichtquelle **3**, bei der es sich um eine Leuchtdiode handelt. Das Licht der Lichtquelle **3** wird von einem drehbar angetriebenen Polygonspiegel **4** auf das Objekt **2** reflektiert. Der Lichtstrahlenverlauf ist durch eine gepunktete Linie **5** angedeutet.

**[0018]** Der Streifenprojektor **1** ist Bestandteil eines dreidimensionalen Objektvermessungssystems, das außerdem eine elektronische Kamera **6** zur Aufnahme von Bildern des zu vermessenden Objektes **2** umfaßt.

**[0019]** Gemäß der Erfindung weist der Streifenprojektor **1** ein Steuerungsmittel **7** auf, welches die Lichtquelle **3** mit Strom versorgt. Bei dem Steuerungsmittel **7** kann es sich um eine analoge oder digitale elektronische Schaltung üblicher Bauart handeln. Das Steuerungsmittel **7** steuert die Lichtemission der Lichtquelle **3** durch geeignete Variation des Stroms derart, daß die Lichtintensität zeitlich synchron mit der Drehbewegung des Spiegels **4** moduliert wird. Dabei wird die Lichtintensität nach Maßgabe einer periodischen Intensitätsfunktion in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Spiegels moduliert. Zur Positionierung des Spiegels **4** gemäß einem von dem Steuerungsmittel **7** vorgegebenen Drehwinkelwert dient ein Positioniermotor **8**, der ebenfalls von dem Steuerungsmittel **7** angesteuert wird. Ferner ist mit dem Steuerungsmittel **7** ein Sensorelement **9** verbunden, welches zur Ermittlung des momentanen Drehwinkels des Spiegels **4** dient.

**[0020]** Zwischen der Lichtquelle **3** und dem Polygonspiegel **4** sind Linsen **10** angeordnet, welche eine astigmatische Abbildungsoptik zur Abbildung des Lichtes der Lichtquelle **3** gemäß einer streifenförmigen Intensitätsverteilung auf dem Objekt **2** bilden. Eine der Linsen **10** kann beispielsweise als Zylinderlinse ausgebildet sein, während es sich bei der anderen Linse um eine Sammellinse handelt.

### Patentansprüche

1. Streifenprojektor (**1**) für ein dreidimensionales Objektvermessungssystem, mit einer Lichtquelle (**3**)

und mit einem drehbar angetriebenen Spiegel (**4**), der das Licht der Lichtquelle (**3**) auf ein zu vermessendes Objekt (**2**) reflektiert, gekennzeichnet durch ein Steuerungsmittel (**7**), das die Lichtemission der Lichtquelle (**3**) derart steuert, daß die Lichtintensität zeitlich synchron mit der Drehbewegung des Spiegels (**4**) moduliert wird.

2. Streifenprojektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtintensität nach Maßgabe einer periodischen Intensitätsfunktion in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Spiegels (**4**) moduliert wird.

3. Streifenprojektor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Intensitätsfunktion eine Sinusfunktion, eine Dreieckfunktion, eine Sägezahnfunktion oder eine Rechteckfunktion ist.

4. Streifenprojektor nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenz und/oder die Phase der periodischen Intensitätsfunktion veränderbar und vorgebar sind.

5. Streifenprojektor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehantrieb des Spiegels (**4**) einen von dem Steuerungsmittel (**7**) angesteuerten Positioniermotor (**8**) zur Positionierung des Spiegels (**4**) gemäß einem von dem Steuerungsmittel (**7**) vorgegebenen Drehwinkelwert umfaßt.

6. Streifenprojektor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch ein Sensorelement (**9**) zur Ermittlung des Drehwinkels des Spiegels (**4**).

7. Streifenprojektor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (**3**) wenigstens eine Leuchtdiode umfaßt.

8. Streifenprojektor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegel (**4**) als Polygonspiegel ausgebildet ist, wobei die Spiegelflächen parallel zur Drehachse des Spiegels (**4**) angeordnet sind.

9. Streifenprojektor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch eine astigmatische Abbildungsoptik (**10**) zur Abbildung des Lichtes der Lichtquelle (**3**) gemäß einer streifenförmigen Intensitätsverteilung.

10. Dreidimensionales Objektvermessungssystem mit einer elektronischen Kamera (**6**) zur Aufnahme von Bildern eines zu vermessenden Objektes (**2**) und mit einem Streifenprojektor (**1**) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9 zur Erzeugung eines Lichtmusters auf dem zu vermessenden Objekt (**2**).

11. System nach Anspruch 10, dadurch gekenn-

zeichnet, daß der Drehantrieb (8) des Spiegels (4) des Streifenprojektors (1) derart angesteuert wird, daß sich dieser während der Bildaufnahme kontinuierlich dreht.

12. System nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß durch das Steuerungsmittel (7) des Streifenprojektors (1) die Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels (4) in Abhängigkeit von der Belichtungszeit der Kamera (6) steuerbar ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

