



(10) **DE 10 2018 129 814 A1** 2020.05.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 129 814.5**  
(22) Anmeldetag: **26.11.2018**  
(43) Offenlegungstag: **28.05.2020**

(51) Int Cl.: **G06T 7/80 (2017.01)**  
**G01C 11/04 (2006.01)**  
**G01C 25/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Technische Universität Darmstadt, 64289  
Darmstadt, DE**

(72) Erfinder:  
**Acuna, Raul, 64285 Darmstadt, DE; Willert, Volker,  
64289 Darmstadt, DE**

(74) Vertreter:  
**Patentanwälte Katscher Habermann, 64293  
Darmstadt, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

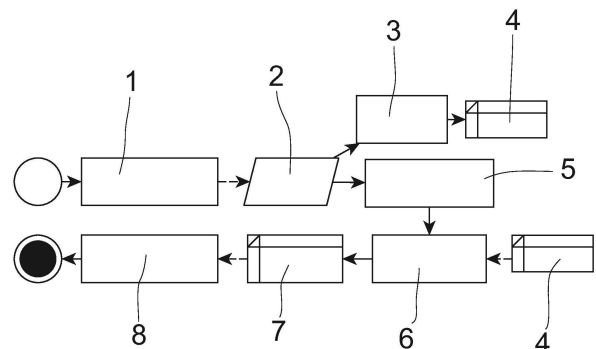
<b>DE</b>	<b>10 2017 004 859</b>	<b>B4</b>
<b>DE</b>	<b>10 2015 103 785</b>	<b>A1</b>

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Bestimmung von Kalibrierungsparametern einer Kamera**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von Kalibrierungsparametern einer Kamera. In einem Darstellungsschritt (1) wird ein vorgegebenes Kalibriermuster durch matrixförmig angeordnete Kalibrierbildpunkte auf einer vorgegebenen und sich dreidimensional erstreckenden zusammenhängenden Oberfläche dargestellt, sodass Abmessungen von Kalibriermusterbereichen des vorgegebenen Kalibriermusters auf der vorgegebenen Oberfläche bekannt sind. Eine Helligkeit und ein Farbe jedes Kalibrierbildpunkts wird elektronisch vorgegeben. In einem auf den Darstellungsschritt (1) folgenden Erfassungsschritt (2) wird eine Aufnahme des Kalibriermusters mit der Kamera erstellt. In einem sich anschließenden Bestimmungsvorgang werden die Kalibrierparameter auf Grundlage der Aufnahme bestimmt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von Kalibrierungsparametern einer Kamera.

**[0002]** Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Kalibrierungsverfahren bekannt, mit denen sowohl extrinsische als auch intrinsische Kameraparameter bzw. Kalibrierungsparameter bestimmt werden können. Bei den intrinsischen Kameraparametern handelt es sich insbesondere um eine Brennweite der Kamera, um Koordinaten eines Bildmittelpunkts von Aufnahmen der Kamera, um Skalierungsfaktoren in beiden Achsenrichtungen der Bildebene, mit denen Bildkoordinaten in Pixeleinheiten der jeweils in der Kamera verwendeten CCD-Aufnahmeeinrichtung umgerechnet werden können sowie um einen Scherungsfaktor. Des Weiteren beinhalten die intrinsischen Kameraparameter die Verzeichnungsparameter des verwendeten Objektivs. Bei den extrinsischen Kameraparametern handelt es sich insbesondere um die Lage der Kamera relativ zu einem Kalibrierkörper oder dergleichen beschrieben durch eine Pose, die die relative Objektlage und die relative Objektorientierung zwischen Kamera und Kalibrierkörper beschreibt.

**[0003]** Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, diese Kameraparameter aus Aufnahmen der jeweiligen Kamera von vorgegebenen Szenen zu ermitteln. Zu diesem Zweck werden mathematische Kameramodelle verwendet und die in den Kameramodellen enthaltenen unbekanntenen Kameraparameter unter Verwendung der aufgenommenen Szenen mit bekannten Identifikationsverfahren berechnet. Bei diesen Verfahren nutzt man die Kenntnis über die Anordnung sowie die Abmessungen der Objekte der aufgenommenen Szene aus, um die Kameraparameter so anzupassen, dass die jeweilige Aufnahme möglichst gut die vorgegebene Szene abbildet.

**[0004]** Bei dem aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren werden verschiedene Szenen eingesetzt, um die Kameraparameter zu ermitteln. Den verwendeten Szenen ist üblicherweise gemein, dass die verwendeten Objekte starke Kontraste aufweisen, um deutliche Übergänge in den ermittelten Aufnahmen erkennen und automatisiert bestimmen zu können. Zudem ist es zur Bestimmung sämtlicher intrinsischer Parameter erforderlich, dass entweder die verwendete Szene Tiefeninformationen beinhaltet oder dass bei Verwendung zweidimensionaler Szenen mehrere Aufnahmen der Szene aus verschiedenen Richtungen und in unterschiedlichen Abständen aufgenommen und für die Bestimmung der Kameraparameter verwendet werden. Diese Szenen werden im Folgenden auch als Kalibriermuster bezeichnet.

**[0005]** Aus dem Stand der Technik ist beispielsweise die Verwendung von 3D-Kalibrierkörpern als Kalibriermuster bekannt. Hierbei führt jedoch insbesondere die geringe Dichte der für die Bestimmung der Kameraparameter verwendbaren Referenzpunkte sowie die vorgegebene Anzahl und Verteilung der Referenzpunkte während des Kalibriervorgangs zu einer vergleichsweise ungenauen Bestimmung der Kameraparameter. Aus diesem Grund werden in dem Stand der Technik häufig 2D-Kalibriermuster wie beispielsweise Schachbrettmuster für den Kalibriervorgang verwendet, die aus mehreren Perspektiven mit der Kamera aufgenommen werden. Diese Verfahren ermöglichen zwar eine vergleichsweise exakte Bestimmung insbesondere der intrinsischen Kameraparameter, erfordern durch die Vielzahl von Aufnahmen jedoch einen erheblichen Kalibrieraufwand.

**[0006]** Aus dem Stand der Technik ist es auch bekannt, 2D-Kalibriermuster auf Flachbildschirmen darzustellen, sodass auch unterschiedliche Kalibriermuster einfach zur Kalibrierung verwendet werden können. Hierdurch kann der Aufwand für die Ermittlung mehrerer Aufnahmen aus unterschiedlichen Perspektiven jedoch nicht reduziert werden.

**[0007]** Der Vorteil der verwendeten zweidimensionalen Kalibriermuster liegt also insbesondere in der hohen Dichte an kontrastreichen Übergängen in dem verwendeten Kalibriermuster, die in den von dem Kalibriermuster erzeugten Aufnahmen durch automatisierte Verfahren zuverlässig ermittelt werden können, um die Zuordnung der bekannten Ausrichtungen und Abmessungen der verschiedenen Objekte des Kalibriermusters und der von diesen erzeugten Abbildungen für die Bestimmung der verschiedenen Kameraparameter nutzen zu können. Nachteilig hierbei ist das Erfordernis, mehrere Aufnahmen erzeugen zu müssen, um ausreichende Tiefeninformationen zu erhalten.

**[0008]** Um diesen Nachteil zu vermeiden ist es aus dem Stand der Technik auch bekannt, mehrere Flachbildschirme versetzt und relativ zueinander verschwenkt anzuordnen, um mit einer Aufnahme zusätzliche 3D-Informationen beziehungsweise Tiefeninformationen zu erhalten. Hierbei ist jedoch eine aufwändige Kalibrierung der Position der verschiedenen Bildschirme relativ zueinander erforderlich.

**[0009]** Als Aufgabe der Erfindung wird es angesehen, die aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren derart weiter zu entwickeln, dass mit möglichst geringem Aufwand, vollautomatisiert sämtliche Kameraparameter mit möglichst hoher Genauigkeit ermittelt werden können.

**[0010]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Bestimmung von Kalibrierungsparametern einer Kamera gelöst, wobei in einem

Darstellungsschritt ein vorgegebenes Kalibriermuster durch matrixförmig angeordnete Kalibrierbildpunkte auf einer vorgegebenen und sich dreidimensional erstreckenden Oberfläche dargestellt wird, sodass Abmessungen von Kalibriermusterbereichen des vorgegebenen Kalibrierusters auf der vorgegebenen Oberfläche bekannt sind, wobei eine Helligkeit und eine Farbe jedes Kalibrierbildpunkts elektronisch vorgegeben wird, wobei in einem auf den Darstellungsschritt folgenden Erfassungsschritt eine Aufnahme des Kalibrierusters mit der Kamera erstellt wird und wobei in einem sich anschließenden Bestimmungsvorgang die Kalibrierparameter auf Grundlage der Aufnahme bestimmt werden. Auf diese Weise können bekannte 2D-Kalibriermuster dreidimensional dargestellt werden, sodass der Kalibriervorgang bereits mit einer Aufnahme zuverlässig durchgeführt werden kann. Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorteilhafterweise voll automatisch durchgeführt und kann beispielsweise in einer Kamera-produktionslinie eingesetzt werden, da eine manuelle Kalibrierung der relativen Ausrichtung der Kamera zu dem auf der Oberfläche dargestellten dreidimensionalen Kalibriermuster nicht erforderlich ist und die manuelle Positionierung des Kalibrierkörpers an unterschiedlichen Position entfällt.

**[0011]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann auch zu Kalibrierung mehrerer zusammenhängender Kameras, sogenannter Multikamerasysteme wie sie zum Beispiel bei Kameradrohnen eingesetzt werden, verwendet werden. Hierbei ist vorteilhafterweise vorgesehen, dass für jede Kamera des Multikamerasystems eine sich dreidimensional erstreckende Oberfläche bereitgestellt wird sodass das erfindungsgemäße Verfahren für sämtliche Kameras des Multikamerasystems gleichzeitig durchgeführt werden kann.

**[0012]** Es ist auch möglich und erfindungsgemäß vorgesehen, mehrere Kameras mit sich überlappenden Aufnahmebereichen bzw. Sichtfeldern über eine einzige sich dreidimensional erstreckende Oberfläche gemeinsam zu kalibrieren. Hierbei wird zusätzlich eine Relativpose der mehreren Kameras bestimmt.

**[0013]** Vorteilhafterweise werden für die Kalibrierung bekannte zweidimensionale Kalibriermuster verwendet. Zu diesem Zweck ist vorteilhafterweise vorgesehen, die zweidimensionalen Kalibriermuster auf Grundlage von der Geometrie der verwendeten Oberfläche abhängiger Transformationsvorschriften in dreidimensionale Kalibriermuster zu überführen. Es ist jedoch auch möglich und erfindungsgemäß vorgesehen, die bekannten zweidimensionalen Kalibriermuster direkt auf der sich dreidimensional erstreckenden Oberfläche darzustellen und die hierbei erzeugten Verzerrungen der verschiedenen Kalibriermusterobjekte des jeweiligen Kalibrierusters bei der späteren Zuordnung von Bildpunkten der Auf-

nahme zu entsprechenden 3D-Koordinaten des Kalibrierusters zu berücksichtigen.

**[0014]** Um diese Zusammenhänge besonders einfach berücksichtigen zu können, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Oberfläche in mindestens einer Richtung konkav gekrümmt ist. Bei konkav gekrümmten Oberflächen können besonders viele 3D-Informationen erzeugt werden, wobei gleichzeitig die Überführung der zweidimensionalen Kalibriermuster in ein 3D-Koordinatensystem des konkav gekrümmten dreidimensionalen Objekts beziehungsweise der verwendeten Oberfläche besonders einfach möglich ist.

**[0015]** Vorteilhafterweise ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Oberfläche mit einem Krümmungsradius gekrümmt ist. Vorteilhafterweise ist die Oberfläche in ausschließlich einer Richtung konkav gekrümmt. Durch die Verwendung derartiger zylindermantelabschnittsförmiger Oberflächen ist eine besonders einfache Zuordnung der zweidimensionalen Kalibriermuster in 3D-Koordinaten möglich.

**[0016]** Um das Kalibriermuster möglichst vollständig in der Aufnahme abzubilden und die Aufnahme möglichst vollständig mit dem Kalibriermuster auszufüllen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Kamera relativ zu der Oberfläche so ausgerichtet wird, dass eine optische Achse der Kamera durch einen Krümmungsmittelpunkt und einen Oberflächenmittelpunkt der Oberfläche verläuft.

**[0017]** Vorteilhafterweise ist die optische Achse senkrecht zu der Oberfläche ausgerichtet.

**[0018]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann besonders einfach dadurch umgesetzt werden, dass es sich bei der Oberfläche um einen konkav gekrümmten Bildschirm handelt. Derartige Curved-Displays sind vergleichsweise kostengünstig und bieten trotz der vergleichsweise geringen Tiefe beziehungsweise des großen Krümmungsradius ausreichende Tiefeninformation für die Bestimmung der Kameraparameter.

**[0019]** Es ist jedoch auch möglich und erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Kalibrierbildpunkte durch einen Projektor erzeugt werden. Hierzu ist es erforderlich, die relative Anordnung des Projektors und der Oberfläche vor Beginn des beziehungsweise der mehreren Kalibrierungsprozesse einmalig zu kalibrieren, um die Verzerrung des verwendeten Kalibrierusters auf der Oberfläche bestimmen zu können.

**[0020]** Vorteilhafterweise ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Kamera relativ zu der Oberfläche so angeordnet wird, dass die Kamera das gesamte Kalibriermuster erfassen kann und die Aufnahme möglichst weitestgehend das Kalibriermuster

darstellt. Auf diese Weise können insbesondere die Verzeichnungsparameter besonders exakt bestimmt werden.

**[0021]** Um eine möglichst genaue Bestimmung der Kalibrierparameter zu erreichen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass in einem Darstellungs- und Erfassungsvorgang mehrere Darstellungs- und Erfassungsschritte jeweils aufeinanderfolgend durchgeführt werden, wobei in jedem Darstellungsschritt ein anderes Kalibriermuster dargestellt wird. Bei dieser Ausgestaltung des Verfahrens werden zur Bestimmung der Kalibrierparameter mehrere Aufnahmen verwendet. Diese Aufnahmen können jedoch vollautomatisiert und ohne Neuausrichtung der relativen Position der Kamera und der Oberfläche zueinander ausgeführt werden.

**[0022]** Zur Bestimmung der Kalibrierungsparameter ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass in dem Bestimmungsvorgang ein Relativlagenberechnungsschritt durchgeführt wird, wobei eine relative Lage der Kamera zu der Oberfläche anhand der bekannten Abmessungen der Kalibriermusterbereiche auf der Oberfläche und der Aufnahme des Kalibrierusters bestimmt wird.

**[0023]** Vorteilhafterweise ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass in dem Bestimmungsvorgang ein Punktextraktionsschritt durchgeführt wird, wobei in dem Punktextraktionsschritt jeder Aufnahmebildpunkt mindestens einem Kalibrierbildpunkt zugeordnet wird. Aufgrund der bekannten und vorgegebenen Anordnung der verschiedenen Kalibriermusterbereiche beziehungsweise Kalibriermusterobjekte relativ zueinander, können die Koordinaten der Aufnahmebildpunkte entsprechenden Referenzkoordinaten des Kalibrierusters zugeordnet werden.

**[0024]** Vorteilhafterweise ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass nach dem Punktextraktionsschritt ein Bildgleichrichtungsschritt in dem Bestimmungsvorgang durchgeführt wird, wobei Verzeichnungsparameter des Objektivs der Kamera auf Grundlage der in dem Punktextraktionsschritt erfolgten Zuordnung sowie des vorgegebenen Kalibrierusters bestimmt werden und wobei die Verzeichnungsparameter Kalibrierparameter darstellen. Vorteilhafterweise wird zur Bildgleichrichtung ein Vektorfeld eingesetzt, dass für jeden Bildpunkt einen Verschiebungsvektor für die Verzeichnung angibt.

**[0025]** Vorteilhafterweise ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass eine Verzeichnung in der Aufnahme und der Verwendung der Verzeichnungsparameter korrigiert wird und dass unter Verwendung der korrigierten Aufnahme eine Brennweite und ein optisches Zentrum der Kamera bestimmt werden, wobei diese Parameter weitere Kalibrierparameter bilden.

**[0026]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

**[0027]** Es zeigt:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung des Ablaufs des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0028]** Bei dem in **Fig. 1** schematisch dargestellten Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in einem Darstellungsschritt **1** zunächst ein vorgegebenes Kalibriermuster auf einem Curved-Display dargestellt. Anschließend wird in einem Erfassungsschritt **2** eine Aufnahme des Kalibrierusters erstellt. Ausgehend von dieser Aufnahme werden in einem Relativlagenberechnungsschritt **3** eines Bestimmungsvorgangs Lageparameter **4** bestimmt, die eine relative Lage zwischen der Oberfläche und eines in der Kamera verwendeten CCD-Chips charakterisieren. In dem Bestimmungsvorgang wird zudem ein Punktextraktionsschritt **5** durchgeführt, wobei in dem Punktextraktionsschritt **5** den Aufnahmebildpunkten entsprechende Kalibrierbildpunkte zugeordnet werden. Anschließend wird ein Bildgleichrichtungsschritt **6** durchgeführt wobei in dem Bildgleichrichtungsschritt **6** sowohl Verzeichnungsparameter der Kamera ermittelt als auch die Verzeichnung der Aufnahme durch die ermittelten Verzeichnungsparameter korrigiert werden. Die derart korrigierte Aufnahme **7** wird anschließend in einem weiteren Schritt **8** des Bestimmungsvorgangs dazu verwendet, die weiteren Kalibrierparameter zu bestimmen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Kalibrierungsparametern einer Kamera, wobei in einem Darstellungsschritt (1) ein vorgegebenes Kalibriermuster durch matrixförmig angeordnete Kalibrierbildpunkte auf einer vorgegebenen und sich dreidimensional erstreckenden zusammenhängenden Oberfläche dargestellt wird, sodass Abmessungen von Kalibriermusterbereichen des vorgegebenen Kalibrierusters auf der vorgegebenen Oberfläche bekannt sind, wobei eine Helligkeit und ein Farbe jedes Kalibrierbildpunkts elektronisch vorgegeben wird, wobei in einem auf den Darstellungsschritt (1) folgenden Erfassungsschritt (2) eine Aufnahme des Kalibrierusters mit der Kamera erstellt wird und wobei in einem sich anschließenden Bestimmungsvorgang die Kalibrierparameter auf Grundlage der Aufnahme bestimmt werden.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Oberfläche in mindestens einer Richtung konkav gekrümmt ist.

3. Verfahren gemäß Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Oberfläche mit einem Krümmungsradius gekrümmt ist.

4. Verfahren gemäß Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kamera relativ zu der Oberfläche so ausgerichtet wird, dass eine optische Achse der Kamera durch einen Krümmungsmittelpunkt und einen Oberflächenmittelpunkt der Oberfläche verläuft.

5. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei der Oberfläche um einen konkav gekrümmten Bildschirm handelt.

6. Verfahren gemäß einem Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kalibrierbildpunkte durch einen Projektor erzeugt werden.

7. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kamera relativ zu der Oberfläche so angeordnet wird, dass die Kamera das gesamte Kalibriemuster erfassen kann und die Aufnahme möglichst weitgehend das Kalibriemuster darstellt.

8. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem Darstellungs- und Erfassungsvorgang mehrere Darstellungs- und Erfassungsschritte jeweils aufeinanderfolgend durchgeführt werden, wobei in jedem Darstellungsschritt (1) ein anderes Kalibrierungsmuster dargestellt wird.

9. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Bestimmungsvorgang ein Relativlagenberechnungsschritt (3) durchgeführt wird, wobei eine relative Lage der Kamera zu der Oberfläche anhand der bekannten Abmessungen der Kalibrierungsbereiche auf der Oberfläche und der Aufnahme des Kalibriemusters bestimmt wird.

10. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Bestimmungsvorgang ein Punktextraktionsschritt (5) durchgeführt wird, wobei in dem Punktextraktionsschritt (5) jeder Aufnahmebildpunkt mindestens einem Kalibrierbildpunkt zugeordnet wird.

11. Verfahren gemäß Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem Punktextraktionsschritt (5) ein Bildgleichrichtungsschritt (6) in dem Bestimmungsvorgang durchgeführt wird, wobei Verzeichnungsparameter der Kamera auf Grundlage der in dem Punktextraktionsschritt (5) erfolgten Zuordnung sowie des vorgegebenen Kalibriemusters bestimmt werden und wobei die Verzeichnungsparameter Kalibrierparameter darstellen.

12. Verfahren gemäß Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Verzeichnung in der Aufnahme unter Verwendung der Verzeichnungsparameter korrigiert wird und dass unter Verwendung der korrigierten Aufnahme eine Brennweite und ein optisches Zentrum der Kamera bestimmt werden, wobei diese Parameter weitere Kalibrierparameter bilden.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

