

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH 697 319 B1**

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: **G01C 11/02** (2006.01)
G03B 43/00 (2006.01)
H04N 17/00 (2006.01)
G01B 11/00 (2006.01)

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 00552/05

(22) Anmeldedatum: 30.03.2005

(30) Priorität: 26.04.2004
DE 10 2004 020 881.6

(24) Patent erteilt: 15.08.2008

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.08.2008

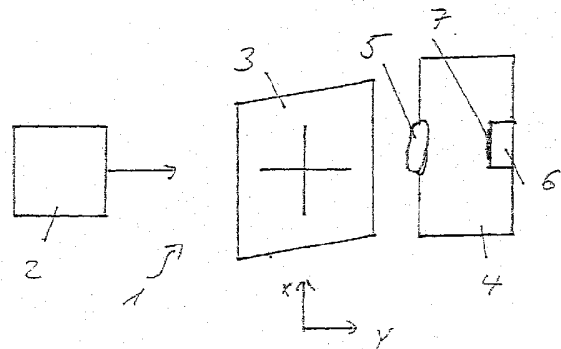
(73) Inhaber:
DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
53175 Bonn (DE)

(72) Erfinder:
Driescher, Hans, 15562 Rüdersdorf (DE)
SCHEELE, Martin, D-14656 Brieselang (DE)
SCHUSTER, Reinhard, D-14532 Kleinmachnow (DE)
Hans-Rainer Lehmann, 14471 Potsdam (DE)
Jan Herbert, 12487 Berlin (DE)

(74) Vertreter:
E. Blum & Co. AG Patent- und Markenanwälte VSP,
Vorderberg 11
8044 Zürich (CH)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum geometrischen Kalibrieren von optoelektronischen Messbildkameras.**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung (1) zum geometrischen Kalibrieren einer optoelektronischen Messbildkamera (4), umfassend eine kohärente, monochromatische Lichtquelle und mindestens ein Mittel zur Erzeugung einer definierten Teststruktur, wobei die erzeugte Teststruktur über die Optik der Messbildkamera auf deren Fokalebene abgebildet wird, wobei das Mittel als Spaltblende ausgebildet ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum geometrischen Kalibrieren von optoelektronischen Messbildkameras gemäss Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 4.

[0002] Optoelektronische Messbildkameras umfassen typischerweise mindestens einen CCD- oder CMOS-Zeilen- oder Matrix-Sensor, der das einfallende Licht in elektrische Signale umwandelt. Nachfolgend wird ohne Beschränkung der Allgemeinheit von CCD-Zeilen-Sensoren gesprochen, wobei die Aussagen auch auf andere Sensorentypen übertragbar sind.

[0003] Bei der geometrischen Kalibrierung von CCD-Messbildkameras besteht die Aufgabe darin, jedem CCD-Pixel seine Winkelkoordinaten (Azimut und Elongation) bezüglich der optischen Achse der Kamera zuzuordnen.

[0004] Es gibt dazu eine Reihe von üblichen Verfahren. Sehr gebräuchlich ist die geometrische Kalibrierung einer Messbildkamera mit Hilfe eines Kollimators. Hierbei befindet sich im Brennpunkt des Kollimators ein punktförmiger Lichtfleck, dessen Licht den Kollimator als nahezu paralleles Licht verlässt. Die zu kalibrierende Kamera ist auf dieses aus dem Kollimator austretende Licht ausgerichtet. Damit wird auf der Fokalebene der Kamera dieser Punkt wieder abgebildet. Seine Grösse entspricht dem Verhältnis der Brennweiten des Kollimators und der zu kalibrierenden Kamera. Üblicherweise hat der Kollimator gegenüber der zu kalibrierenden Kamera eine wesentlich längere Brennweite, wodurch der mit Hilfe eines Pinholes realisierte Leuchtfleck im Kollimator üblicherweise wesentlich verkleinert auf die Fokalebene der Kamera abgebildet wird.

[0005] Während der Kalibrierung befindet sich die Kamera auf einem Manipulator, der in zwei zueinander senkrechten Ebenen gedreht werden kann. Die Eintrittspupille der zu kalibrierenden Optik befindet sich dabei im Drehpunkt des Manipulators. Der Nullpunkt der Winkelkoordinaten (Azimut und Elongation) bezüglich der optischen Achse der Kamera wird durch Justierung der Kamera in Bezug auf die optische Achse des Manipulators festgelegt. Hierzu dient ein Justierspiegel, d.h. ein Planspiegel, der fest und langzeitstabil mit der Kamera so verbunden ist, dass die Spiegelfläche senkrecht zur optischen Achse der Kamera ausgerichtet ist. In der Grundausrichtung der Kamera auf dem Manipulator muss sich dann nicht nur die Eintrittspupille des Manipulators im Drehpunkt der Kamera befinden, sondern auch die optische Achse des Manipulators muss senkrecht zum Kamerajustierspiegel stehen. Nach der erfolgreichen Justierung des Zustandes wird ein bestimmtes charakteristisches CCD-Pixel (z.B. das Mittelpixel einer CCD-Zeile) durch Schwenken des Manipulators angefahren und die so gefundenen Winkelwerte abgespeichert und als Nullpunkt definiert.

[0006] Während des weiteren Kalibrierprozesses werden die Winkel für Azimut und Elongation für alle weiteren Pixel der zu kalibrierenden Fokalebene gemessen und abgespeichert. In der realen Messpraxis werden bei CCD-Zeilen nicht alle, sondern nur einige Punkte (z.B. 11) exakt vermessen und die Winkelkoordinaten der restlichen Punkte rechnerisch bestimmt. Bei einer Fokalebene mit beispielsweise 4 CCD-Zeilen wären dann 44 Punkte zu vermessen. Das wird für wissenschaftliche Zwecke auch so gemacht, ist aber so zeitaufwendig, dass es zur geometrischen Kalibrierung von industriell gefertigten Messbildkameras nicht durchführbar ist.

[0007] Aus der DE 19 727 281 C1 ist eine Vorrichtung zur geometrischen Kalibrierung von CCD-Kameras bekannt, umfassend eine kohärente Lichtquelle und ein synthetisches Hologramm zur Erzeugung einer wohldefinierten Teststruktur, wobei die kohärente Lichtquelle und das Hologramm derart zueinander angeordnet sind, dass bei Beleuchtung des Hologramms durch die kohärente Lichtquelle das Hologramm eine dreidimensionale Teststruktur um die Fokalebene der CCD-Kamera herum erzeugt. Die kohärente Lichtquelle ist dabei als Laser oder parallele Weisslichtquelle ausgebildet. Diese prinzipiell sehr vorteilhafte Lösung ist in der praktischen Umsetzung relativ komplex, da entsprechende Kenntnisse zur Herstellung des Hologramms erforderlich sind.

[0008] Der Erfindung liegt daher das technische Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum geometrischen Kalibrieren von optoelektronischen Messbildkameras zu schaffen, die bei einem einfachen Aufbau eine exakte Kalibrierung erlauben.

[0009] Die Lösung des technischen Problems ergibt sich mittels der Gegenstände mit den Merkmalen der Patentansprüche 1 bzw. 4. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0010] Das Mittel zur Erzeugung der Teststruktur ist als Doppel-Spaltblende ausgebildet, wobei die beiden Spalte aufeinander senkrecht stehen. Dadurch werden zwei zueinander senkrecht stehende Beugungsbilder erzeugt, die voneinander unabhängig sind, was die Auswertung erheblich erleichtert. Prinzipiell müssen die beiden Spalte nicht senkrecht aufeinander stehen, wobei dann jedoch ein Lichtmuster in einem Winkel über dem optoelektronischen Sensor verläuft, was wiederum die Auswertung erschwert.

[0011] Dabei wird ausgenutzt, dass die Beugungsbilder eines Spaltes eine Lichtstruktur bilden, deren Helligkeitsverteilung einer analytisch bestimmaren Winkelzuordnung entspricht. Dabei kann nach Definition eines Nullpunktes durch eine einzige Messung die gesamte Fokalebene kalibriert werden. Dabei wird ausgenutzt, dass sich in der Richtung senkrecht zum Spalt eine Lichtstruktur bildet, deren Intensität mit einer $\sin x/x$ -Charakteristik symmetrisch zum Spalt variiert. Bei Verwendung von monochromatischem Licht bekannter Wellenlänge sowie bekannter Spaltbreite und Brennweite sind dabei die Nulldurchgänge mit mathematischer Exaktheit berechenbar. Bei einer Spaltbreite von 0,5 mm und einer Wellen-

länge von 500 nm wiederholen sich die Nulldurchgänge der Spaltfunktion äquidistant alle 0,1 mm. Allgemein lässt sich die Intensität beschreiben durch

$$IG(x) = \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot b \cdot x}{\lambda \cdot f}\right)^2}{\left(\frac{\pi \cdot b \cdot x}{\lambda \cdot f}\right)^2}, \text{ mit}$$

b = Spaltbreite, f = Brennweite der Optik, λ = Wellenlänge der Lichtquelle. Als Randbedingung muss dabei beachtet werden, dass der Intensitätsunterschied zwischen zwei Pixeln grösser als die Unterscheidungsstufe der radiometrischen Auflösung ist, was aber bei typischen Auflösungen von 10 Bit (1024 Graustufen) kein Problem darstellt. Aufgrund der Stetigkeit der Funktion ist es dabei ausreichend, wenn dieses Kriterium im Nulldurchgang der Verteilung zu den beiden benachbarten Pixeln erfüllt ist. Es sei angemerkt, dass neben einem Spalt noch andere beugende Strukturen in Frage kommen, wenn diese eine eindeutige mathematisch errechnete Winkelbeziehung in der Beugungsstruktur aufweisen. Voraussetzung für diese eindimensionale Intensitätsverteilung ist die Annahme, dass der Spalt eine unendliche Länge aufweist. Bei endlicher Spaltbreite entsteht eine zweidimensionale Verteilung, die prinzipiell verwendbar ist, jedoch eine etwas komplexere Berechnung erfordert. Daher wird vorzugsweise die Spaltlänge grösser/gleich dem Durchmesser der Optik gewählt, so dass die Annahme eines unendlich langen Spaltes gerechtfertigt ist.

[0012] Weiter ist die Breite der Spalte veränderbar. Hierdurch kann einerseits eine Feinabstimmung erfolgen, so dass beispielsweise die Minima möglichst zentral ein Pixel treffen. Andererseits kann hierdurch sehr einfach und schnell eine zweite Messung durchgeführt werden, um mittels Korrelation die geometrische Kalibrierung zu verbessern. Selbstverständlich können auch mehr als zwei Messungen durchgeführt werden.

[0013] In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Wellenlänge der Lichtquelle veränderbar.

[0014] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Die Figuren zeigen:

Fig. 1 eine Teildarstellung der Intensitätsverteilung einer Beugungsstruktur an einem Spalt und

Fig. 2 eine schematische Darstellung zum geometrischen Kalibrieren einer optoelektronischen Messbildkamera.

[0015] In der Fig. 1 ist die Intensität der Beugungsstruktur an einem Spalt über dem Abstand dargestellt, wobei die Wellenlänge $\lambda = 500$ nm, die Brennweite der Optik $f = 0,1$ m und die Spaltbreite $b = 0,5$ mm beträgt, wobei der Abstand in m dargestellt ist. Wie man erkennt, weist die Intensitätsverteilung alle 0,1 mm ein Minimum auf. Ist der Spalt in Y-Richtung ausgerichtet, so stellt sich die dargestellte Intensitätsverteilung in X-Richtung ein.

[0016] In der Fig. 2 ist nun schematisch die Vorrichtung 1 zum Kalibrieren einer optoelektronischen Messbildkamera dargestellt. Die Vorrichtung 1 umfasst eine kohärente, monochromatische Lichtquelle 2, eine Doppel-Spaltblende 3 und eine Messbildkamera 4. Die Messbildkamera 4 umfasst eine Optik 5 und eine Fokalebene 6, auf der mindestens ein optoelektronischer Sensor 7 angeordnet ist. Die Doppel-Spaltblende 3 umfasst einen Spalt, der sich in X-Richtung erstreckt, und einen Spalt, der sich in Y-Richtung erstreckt. Es sei nun angenommen, dass auf der Fokalebene 6 mehrere CCD-Zeilen angeordnet sind, die sich in X-Richtung erstrecken.

[0017] Die Doppel-Spaltblende wird durch die, beispielsweise als Laser ausgebildete Lichtquelle 2 beleuchtet. Aufgrund des Spaltes in Y-Richtung wird ein Beugungsmuster in X-Richtung erzeugt. Dieses Beugungsmuster wird über die Optik 5 auf die Fokalebene 6 bzw. die optoelektronischen Sensoren 7 abgebildet. Da das Beugungsmuster theoretisch unendlich lang ist, wird die CCD-Zeile über die volle Länge beleuchtet, wobei jedoch praktisch sicherzustellen ist, dass die Intensität an den Rändern der CCD-Zeile noch ausreichend gross ist im Verhältnis zur radiometrischen Auflösung der CCD-Zeile. Kann dies nicht gewährleistet werden, so muss die geometrische Länge der Randpixel durch die anderen Werte extrapoliert werden. Entsprechend liefert der Spalt in X-Richtung ein Beugungsmuster in Y-Richtung, so dass die CCD-Zeilen auch in Y-Richtung geometrisch kalibriert werden können. Anschliessend werden die CCD-Zeilen ausgelesen. Da die Orte der Nullpunkte exakt ermittelbar sind, kann auch die geometrische Lage jedes Pixels in X- und Y-Richtung exakt bestimmt werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum geometrischen Kalibrieren von optoelektronischen Messbildkameras, umfassend eine kohärente, monochromatische Lichtquelle und mindestens ein Mittel zur Erzeugung einer definierten Teststruktur, wobei die erzeugte Teststruktur über die Optik der Messbildkamera auf deren Fokalebene abgebildet wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel als Doppel-Spaltblende (3) ausgebildet ist, wobei die beiden Spalte aufeinander senkrecht stehen, wobei die Breite der Spalte veränderbar ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge des Spaltes grösser oder gleich dem Durchmesser der Optik (5) ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Wellenlänge der Lichtquelle (2) veränderbar ist.
4. Verfahren zum geometrischen Kalibrieren von optoelektronischen Messbildkameras (4), mittels einer kohärenten, monochromatischen Lichtquelle (2) und mindestens einer Doppel-Spaltblende (3), wobei die beiden Spalte aufeinander senkrecht stehen, wobei die Doppel-Spaltblende (3) zwischen der kohärenten Lichtquelle (2) und der Optik (5) der Messbildkamera (4) angeordnet ist, wobei durch Bestrahlung der Spaltblende durch die kohärente Lichtquelle (2) eine mindestens eindimensionale, definierte Teststruktur erzeugt wird, die durch die Optik (5) auf die Fokalebene (6) der Messbildkamera (4) abgebildet wird, wobei durch Auswertung der mit der Teststruktur bestrahlten optoelektronischen Sensoren (7) die räumliche Anordnung der Pixel bestimmt wird und deren Lage abgespeichert wird, wobei die Messung mit einer anderen Spaltbreite wiederholt wird und anschliessend die Ergebnisse korreliert werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge des Spaltes grösser oder gleich dem Durchmesser der Optik (5) gewählt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung mit einer anderen Wellenlänge der Lichtquelle (2) wiederholt wird und anschliessend die Ergebnisse korreliert werden.

Fig. 1

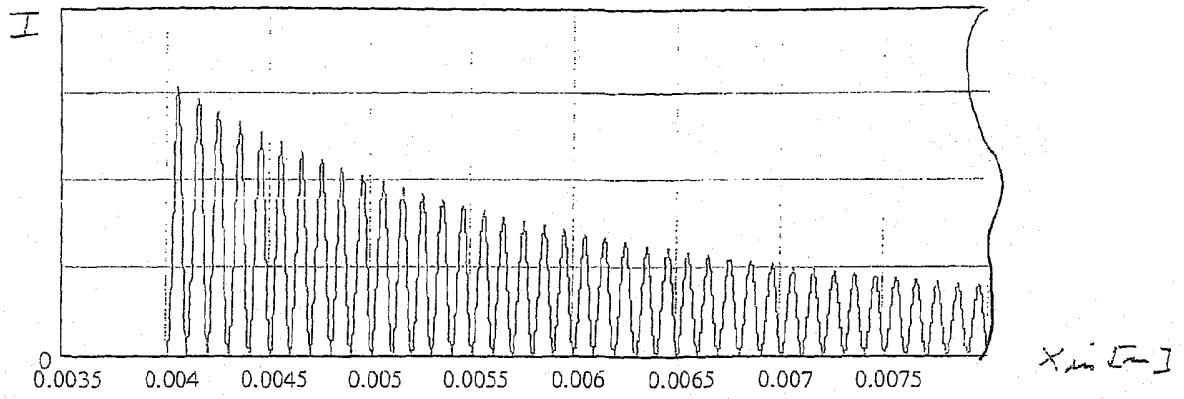


Fig. 2

