

# Sichtstrahlkalibrierung für optisch abbildende Systeme

Wansong Li\*, Thorsten Bothe\*\*, Michael Schulte\*\*, Christoph von Kopylow\*\*,  
Norbert Köpp\*, Werner Jüptner\*\*

\*VEW – Vereinigte Elektronikwerkstätten Bremen

\*\*BIAS – Bremer Institut für Angewandte Strahltechnik

<mailto:li@bias.de>

Es wird eine neuartige Kalibrierung für optisch abbildende Systeme vorgestellt. Auf Basis hochauflösender Phasemessung wird für jedes einzelne Pixel ein Sichtstrahl im Raum bestimmt. Die sich ergebende hochauflösende Beschreibung ist unabhängig vom idealisierten Lochkammermodell, wodurch sich z.B. auch Fischaugenobjektive beschreiben lassen.

## 1 Einführung

Viele Messverfahren verwenden die geometrischen Strahlen einer abbildenden Optik zur Bestimmung von Messgrößen. Bei der Triangulation werden beispielsweise zwei Strahlen im Raum verschnitten, um daraus eine 3D-Koordinate zu gewinnen (Abb.1). Bei der Streifenprojektionstechnik werden diese Strahlen durch Kombination eines Projektors und einer Kamera in Verbindung mit einer Phasen- bzw. Streifenpositionsmessung gewonnen. Um aus einem Schnittpunkt eine genaue räumliche Koordinate berechnen zu können, muss der Verlauf der beiden Sichtstrahlen bekannt sein. Dazu werden jeweils die Strahlenstartpunkte und die Strahlenrichtungen exakt benötigt.

## 2 Photogrammetrische Kalibrierung

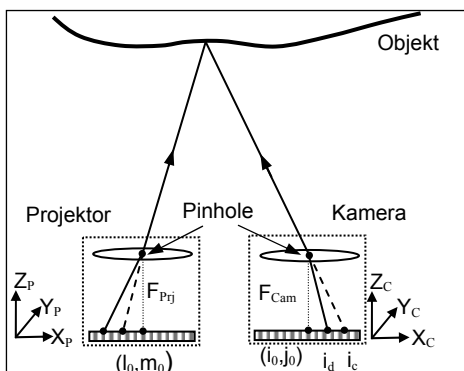


Abb.1 Photogrammetrisches Kamera-Modell. Definition der Sichtstrahlen durch innere und äußere Orientierung.

Bei der klassischen photogrammetrischen Kalibrierung wird die Abbildungsgeometrie durch die geometrischen Parameter des idealisierten Lochkammermodells (wie Kammerkonstante  $f$ , Lage des Bildhauptpunktes  $i_0, j_0$  etc.) beschrieben. Da die Systeme sich üblicherweise nicht dem Ideal entsprechend verhalten, werden Abweichungen davon durch Verzeichnungsparameter als polynomiale Korrekturfunktionen beschrieben (Abb.1). Die verwendeten Polynome sind nicht physikalisch moti-

viert. Dadurch gibt es bei dieser Vorgehensweise Probleme für Abbildungsoptiken, die stark vom Lochkammermodell abweichen wie z. B. Optiken mit kurzer Brennweite oder großer Apertur. Hier führt die Verwendung der Polynome zu systematischen Fehlern, beispielsweise durch Überspringen. Viele neuere Optiken wie Fischaugen, katadioptrische Optiken oder Panoramaoptiken lassen sich darüber hinaus gar nicht mit dem Lochkammermodell beschreiben.

## 3 Prinzip der Sichtstrahlkalibrierung

Die Sichtstrahlkalibrierung setzt kein idealisiertes Modell voraus. Die Optiken werden als Blackbox betrachtet und für jedes Pixel wird ein Sichtstrahl bestimmt [1]. Ein Projektor wird dabei als inverse Kamera betrachtet (Abb.2). Mit diesen Voraussetzungen ist es möglich auch klassisch schlecht zu beschreibende Optiken zu kalibrieren.

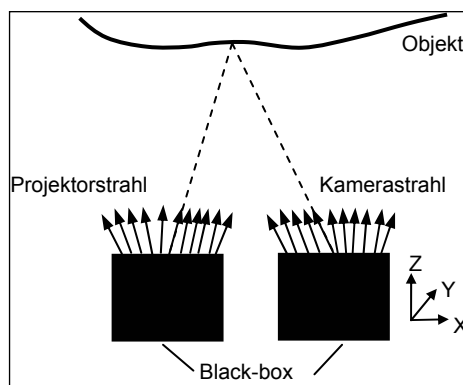
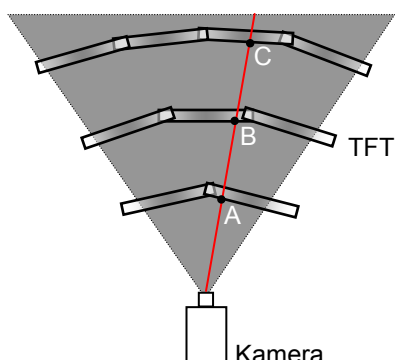


Abb.2 Sichtstrahl-Kamera-Modell: Pixelweise Beschreibung der Sichtstrahlen durch Strahlstartpunkt und Strahlrichtung

Für die Bestimmung der Sichtstrahlen müssen mindestens zwei Punkte des Strahls bekannt sein. Um diese zu bestimmen, werden die optischen Durchstoßpunkte auf einem Monitor ermittelt, der in verschiedene Positionen vor die Optik gebracht wird (Abb.3). Auf dem Monitor wird mit Hilfe angezeigter Streifenmuster eine Absolutphasenmessung in horizontaler und vertikaler Richtung durch-

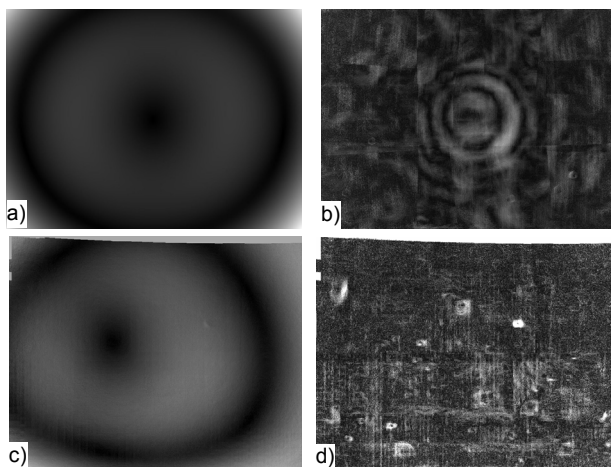
geführt, mit der die Positionen auf dem Monitor subpixelgenau bestimmt werden. Über eine Orientierung des Monitors werden diese in 3D-Koordinaten für die Durchstoßpunkte umgerechnet und daraus die Sichtstrahlen berechnet.



**Abb.3** Kamerakalibrierung: Bestimmung der Sichtstrahlen über Durchstoßpunkte durch mehrere Kalibrierenebenen (TFT).

#### 4 Durchführung/Qualifizierung der Sichtstrahlkalibrierung für ein Streifenprojektionssystem

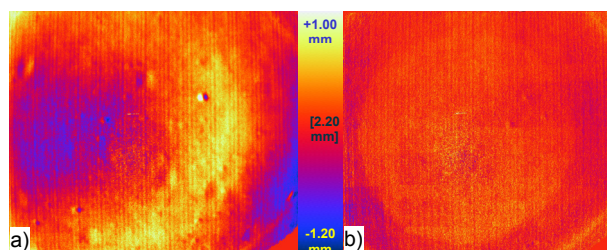
Die Sichtstrahlkalibrierung wurde zur Kalibrierung des Streifenprojektionssystem „3D-Kamera“ eingesetzt [3]. Als Ergebnis der Sichtstrahlkalibrierung für Kamera und Projektor werden alle Sichtstrahlen über vier Parameter (Winkel und Offsets in X und in Y-Richtung) beschrieben. Zur Darstellung der Ergebnisse kann man diese wieder in Verzeichnungsparameter umrechnen (Abb.4).



**Abb.4** Kalibrierergebnisse. a): tieffrequente Verzeichnung der Kamera. b): hochfrequente Verzeichnung der Kamera c): tieffrequente Verzeichnung des Projektors. d): hochfrequente Verzeichnung des Projektors

In Abb.4 a und c sind die tieffrequenten Verzeichnungen von Kamera und Projektor zu sehen. Die Kameraverzeichnung (Abb.4 a) ist relativ symmetrisch und würde sich auch mit klassischen Verfahren gut beschreiben lassen. Der hochfrequente Anteil in Abb.4 b wird hingegen nur durch die Sichtstrahlkalibrierung erfasst.

Die Verzeichnung des Projektors (Abb.4 c) ist stark unsymmetrisch, was bei unvollständiger Beschreibung einer photogrammetrischen Kalibrierung zu deutlichen systematischen Fehlern in der Beschreibung führt. Der Effekt der ungenügenden Beschreibung ist mit dem Streifenprojektionssystem direkt über die Messung einer Ebene (Abb.5) zu erkennen: in Abb.5 a wurde eine photogrammetrische Beschreibung zur Auswertung verwendet. Hier bilden sich sowohl die Unsymmetrie der Verzeichnungen des Projektionsobjektives als auch hochfrequente (in Abb.4 d) klar wiederzuerkennende) Verzeichnungsparameter ab, die prinzipiell ausschließlich durch die Sichtstrahlkalibrierung ermittelt werden können.



**Abb.5** Ebenenabweichung eine Messung mit: a) photogrammetrische Kalibrierung; b) Sichtstrahlkalibrierung.

Führt man nun die Auswertung auf Basis der neuen Sichtstrahlkalibrierung durch (Abb.5 b), so halbiert sich der systematische Fehler, da nun sowohl unsymmetrische Verzeichnungen als auch hochfrequente Effekte der Optik erfasst werden.

Die verbleibenden Artefakte in (Abb.5 b) sind Thema weiterer Arbeiten zur Verbesserung der Sichtstrahlkalibrierung, bei der mindestens ein Faktor 2 weiterer Verbesserung möglich ist.

Durch die universelle Einsetzbarkeit der Sichtstrahlkalibrierung für beliebige abbildende Optiken ist in naher Zukunft von einem breiten Einsatzfeld der Sichtstrahlkalibrierung auszugehen. Daher werden weiterer Untersuchungen auch Schnittstellen zu Anwendungen beinhalten.

Gefördert durch die DFG: Kennziffer JU 142/57-1

#### Literatur

- [1] Li, W.; Schulte, M.; Bothe, T.; von Kopylow, C.; Köpp, N.; Jüptner, W. Beam Based Calibration for Optical Imaging Devices. In: Proceedings of 3DTV-CON. 2007
- [2] Schulte, M.; Bothe, T.; Li, W.; Gesierich, A.; von Kopylow, C.; Jüptner, W.: Hochoauflösende Sichtstrahlkalibrierung für optisch abbildende Systeme am Beispiel Streifenprojektion. - *Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2006*, S. 130-137
- [3] Bothe, T.: „Grundlegende Untersuchungen zur Formfassung mit einem neuartigen Prinzip der Streifenprojektion und Realisierung in einer kompakten 3D-Kamera“, Dissertation (April 2008)