

Ermittlung der Übertragungsfunktion einer auf Glasfiltern basierenden Multispektralkamera

Benjamin Ruggaber*, Franz Schmidt*, Udo Krüger**

*Graduiertenschule für Bildverarbeitung und Bildinterpretation, Technische Universität Ilmenau

**TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, Ilmenau

<mailto:Benjamin.Ruggaber@tu-ilmenau.de>

Nachfolgend wird ein Modell vorgestellt sowie experimentell überprüft, welches die spektralen Eigenschaften der optischen Komponenten einer Multispektralkamera (MK), bezogen auf ein jeweiliges Pixel, beschreibt. Im Modell wird der Einfluss der Blendenzahl bzw. die spektrale Transmission der Filter für konischen Strahlungseinfall (Strahlkegel) berücksichtigt.

1 Einführung

Multispektralkameras (MKs) finden heutzutage in unzähligen Bereichen unseres Lebens Anwendung. So findet man Anwendungen in der Medizin, Biologie, Agrarwirtschaft, Automobil- und Textilindustrie, Geologie, Kunst/Kultur und der Forensik.

Typische Einsatzgebiete sind die orts aufgelöste Farb- und Lichtmesstechnik (Farbortbestimmung, Leuchtdichte, Reflexionsgrad etc.). Je nach Anzahl und Bandbreite der Kanäle finden MKs aber auch in der ortsauflösenden Spektroskopie Anwendung.

Insbesondere wenn eine MK als Messmittel eingesetzt werden soll, also quantitative Kenngrößen ermittelt werden sollen, so ist die Kenntnis der Übertragungsfunktion des Systems von besonderem Interesse. Verfolgt man den Weg einzelner Abbildungsstrahlen durch die optischen Komponenten der MK (Objektiv und Filter), so kann man leicht sehen, dass sich die auf ein jeweiliges Pixel wirksame Übertragungsfunktion (Pixelübertragungsfunktion) von Pixel zu Pixel unterscheidet. Des Weiteren hängt die Pixelübertragungsfunktion von der jeweiligen Abbildungssituation (Gegenstandsweite) ab. Prinzipiell ist es wünschenswert eine pixelunabhängige Übertragungsfunktion zu realisieren (m.a.W. die wirksame spektrale Transmission der optischen Komponenten der MK ist für jedes Pixel gleich).

Die Kenntnis der Pixelübertragungsfunktion ist für die Wahl eines geeigneten Objektivs, für das Filterdesign sowie für die Kalibrierung einer MK von großem Nutzen.

2 Aufbau einer Multispektralkamera

Die LMK 98-4 Color der Firma TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH ist ein typischer Vertreter der Multispektralkameras, welche vorzugsweise in der Farb- und Lichtmesstechnik eingesetzt werden. Es handelt sich hierbei um eine MK nach

dem Filterradprinzip. D.h. die Kanalauswahl erfolgt zeitlich nacheinander, indem Glasfilter durch hochpräzise Rotation des Filterrads nacheinander in den Strahlengang eingebracht werden. Typischerweise befinden sich Filter sowohl vor als auch hinter dem Objektiv.

3 Pixelübertragungsfunktion

Der in (Abb. 1) dargestellte Weg eines Strahlungsflusses durch die optischen Komponenten der MK, bezogen auf ein Pixel i , soll als Pixelübertragungsfunktion bezeichnet werden. Da es sich bei einer MK um ein abbildendes System handelt, wird sich die Pixelübertragungsfunktion von Pixel zu Pixel unterscheiden. Wie anfangs erwähnt, hängt dieser Unterschied maßgeblich vom verwendeten Objektiv sowie von der jeweiligen Abbildungssituation ab.

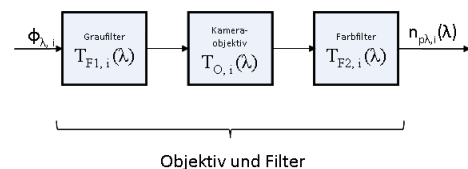


Abb. 1 Pixelübertragungsfunktion einer MK.

Die Modellierung der optischen Komponenten wird nachfolgend behandelt. Für die Modellierung der weiteren kameraseitigen Komponenten (Wandlung der einfallenden Photonen in Ladungsträger und Umsetzung in einen Grauwert) wird auf [1] verwiesen.

4 Modellbildung

Die Modellierung der optischen Komponenten kann zum einen dazu dienen, geeignete Objektive auszuwählen und das Filterdesign zu optimieren aber auch dazu, die Abweichungen zwischen den Pixelübertragungsfunktionen quantitativ zu beschreiben. Als Randbedingungen des Modells wird zum einen die Objektentfernung als quasi unendlich definiert. Zum anderen soll nur

unpolarisiertes Licht vom betrachteten Objekt ausgehen. Diese beiden Randbedingungen ergeben sich aus typischen Anwendungsfällen der oben beschriebenen MK. Des Weiteren wurde die spektrale Transmission des Objektivs als „pixelunabhängig“ betrachtet. Aus der Bedingung, dass sich die Objektentfernung im unendlichen befindet, vereinfacht sich die Modellierung des Filters vor dem Objektiv. Es muss lediglich der jeweilige Hauptstrahl betrachtet werden. Für den Filter hinter dem Objektiv muss die Transmission des Filters für konischen Strahlungseinfall berücksichtigt werden.

In [2] wird ein Modell vorgestellt welches die auf einen Pixel wirksame Transmission eines Filters beschreibt. Berücksichtigt wird hier jeweils nur der Hauptstrahl eines Strahlkegels.

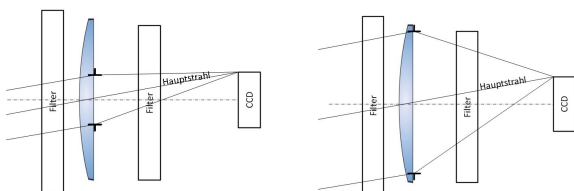


Abb. 2 Veranschaulichung des Hauptstrahlmodells für den Fall einer großen Blendenzahl (links) und einer kleinen Blendenzahl (rechts).

Wie in (Abb. 2) ersichtlich, nähert sich der Strahlkegel im Falle einer großen Blendenzahl dem Hauptstrahl an. Wie man daran leicht erkennen kann, stellt das Hauptstrahlmodell im Falle großer Blendenzahlen somit eine gute Näherung dar.

Um nun aber auch den Einfluss der Blendenzahl quantitativ beschreiben zu können, wurde die Transmission der Filter für konischen Strahlungseinfall modelliert.

Dies erfolgte über einen Raytracing-Ansatz, bei welchem die Austrittspupille (ExP) des Kameraobjektivs als Lambert-Strahler betrachtet wird. Für das Raytracing werden auf der ExP Punkte platziert, welche entsprechend ihrer Position auf der ExP gewichtet sind. Lässt man nun Strahlen von diesen Punkten ausgehen, welche sich alle in einem Pixel treffen, so bilden diese in Summe einen Strahlkegel. Dieser Strahlkegel wird durch die Entfernung der ExP von der CCD-Ebene und der jeweiligen Pixelposition definiert. Verfolgt man nun jeden der Strahlen auf seinem Weg durch den Filter zu einem jeweiligen Pixel und summiert diese auf, so erhält man den Zähler in Formel (1). Dieser entspricht der Strahlungsleistung für konischen Strahlungseinfall hinter dem Filter. Setzt man diesen Ausdruck zur Strahlungsleistung vor dem Filter ins Verhältnis, so erhält man den in Formel (1) dargestellten

Ausdruck für die Transmission eines Filters für konischen Strahlungseinfall.

$$T_{>}(\lambda) = \frac{\sum_{i=1}^N (1 - R_i(\lambda))^2 \cdot e^{-\alpha(\lambda)x_i(\lambda)} \cdot \cos^4 \vartheta_i}{\sum_{i=1}^N \cos^4 \vartheta_i} \quad (1)$$

Vernachlässigt wurden Mehrfachreflexionen. Der Index i steht für den jeweils betrachteten Strahl. N ist die für das Raytracing verwendete Strahlanzahl. Bei α handelt es sich um den Absorptionskoeffizienten. R ist der Reflexionsgrad für unpolarisiertes Licht. Der durch den Filter zurückgelegte Weg ist durch x gegeben. Bei ϑ handelt es sich um den Einfallswinkel.

5 Experimentelle Überprüfung des Modells

Zur experimentellen Überprüfung des Modells wurde ein Strahlkegel über eine Punktlichtquelle und eine Blende definiert. Wodurch unter Verwendung einer Ulbrichtkugel und eines Spektroradiometers die Transmission eines Filters für konischen Strahlungseinfall bestimmt werden konnte. Beim Vergleich mit der über diesen Messaufbau ermittelten Transmission mit den Simulationsergebnissen konnte eine sehr gute Übereinstimmung nachgewiesen werden. Das Modell konnte damit bestätigt werden.

6 Ergebnisse der Simulation

Neben den von Pixel zu Pixel verschiedenen wirksamen Transmissionen der Filter ist auch der Einfluss der Blendenzahl von Interesse. Im Falle der Unterschiede von Pixel zu Pixel kann zusammenfassend gesagt werden, dass diese maßgeblich von der Entfernung der ExP zur Detektorebene abhängen. Bei großem Abstand der ExP zeigen sich quasi keine Unterschiede zwischen den Pixelübertragungsfunktionen. Bei großen Blendenzahlen kann die wirksame Transmission in sehr guter Näherung mit dem Hauptstrahl beschrieben werden. Detailliertere Simulationsergebnisse können [3] entnommen werden.

Literatur

- [1] U. Krüger, *Ausgewählte Aspekte der orts aufgelösten Erfassung stationärer Licht- und Farbverteilungen*, (Der Andere Verlag 2004)
- [2] I. Fryc, „Accuracy of spectral correction of a CCD array for luminance distribution measurement“ in: SPIE. Proc **Vol. 5064**, S. 38-42 (2003)
- [3] U. Krüger, B. Ruggaber, F. Schmidt, „Spectral Properties of Imaging Luminance Measuring Devices Considering the Angular Dependence of The Spectral Transmission of Filters“. Proc. of the 27th Session of the CIE, (2011) Sun City, South Africa, accepted.