

Echtzeit-Bildverarbeitung für den ultra-dünnen Bildsensor



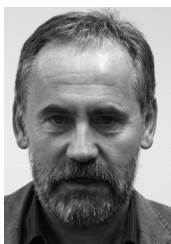
Raúl Tudela



Andreas Brückner



Jacques Duparré



Andreas Bräuer

Das große Gesichtsfeld bei geringer Baugröße macht das Appositions-Facettenauge der Insekten zu einem evolutionären Erfolgsmodell. Das zumeist geringe Auflösungsvermögen wird durch Signalverarbeitung und Verschaltung in den ersten Nerven-ebenen teilweise kompensiert. Inspiriert von diesen Eigenschaften wurde ein Bildsensor nach dem Prinzip künstlicher Facettenaugen entwickelt [1], welcher im Wesentlichen aus einem planaren Mikrolinsenarray besteht, in dessen Brennweite sich ein optoelektronischer Sensor befindet (Abb. 1). Der Aufbau ist so gestaltet, dass jeder Kanal einen individuellen Teil des Gesichtsfelds überträgt. Diese Optiken besitzen das Potenzial zu höchster Miniaturisierung und Integration mit der Optoelektronik (Abb. 2).

Zur Verbesserung des Auflösungsvermögens gehen wir der Fragestellung nach, ob herkömmliche Bildverarbeitungsmethoden bei einem flachen Sensor anwendbar sind. Der erste Bearbeitungsschritt besteht darin, jene Pixel auszuwählen, die durch die jeweilige Mikrolinse beleuchtet werden, da der Sensor einen gegenüber dem Mikrolinsenarray meist höheren Füllfaktor besitzt. Eigens dafür wurde ein Programm entworfen, welches die beleuchteten Pixel einer homogen ausgeleuchteten Objektfläche erkennt und in einem Register speichert. Dabei wird eine eventuelle Falschausrichtung des Linsenarrays zum Pixelraster (Abb. 3) ausgeglichen.

Ein zweites Programm verwendet die gespeicherten Daten, um das Bild so anzuzeigen, wie es durch das Facettenaugenobjektiv gesehen werden würde. Verschiedene Modi, wie die Anzeige von einem oder mehreren Pixeln pro Kanal, sind ebenso möglich wie das Abziehen des Dunkelstroms und die Kontrasterhöhung durch eine Normierung des Grauwert-Histogramms.

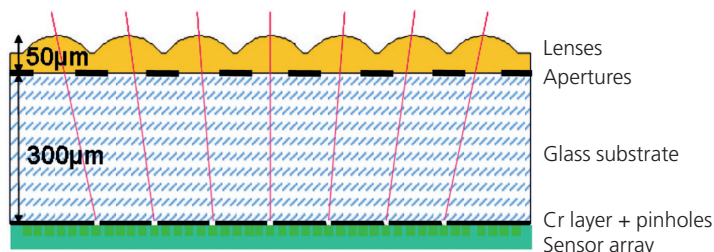
Des Weiteren kann aufgrund der geringen Pixelzahl ein Wiener Filter in Echtzeit auf das Bild angewendet werden. Diese Art der inversen Filterung wird zur Bildwiederherstellung benutzt, wenn die Punktbildverwaschungsfunktion bekannt ist. Das durch den Detektionsprozess eingebrachte Rauschen wird dabei additiv modelliert.

Um den Wiener Filter einsetzen zu können, muss die Übertragungsfunktion des Systems bekannt sein. Diese kann aus der Fourier Transformation der Winkelempfindlichkeitsfunktion (ASF) eines Kanals gewonnen werden. Der entstehende analytische Ausdruck ist kompliziert, es ist jedoch möglich, eine Gausssche Näherung zu verwenden, die für natürliche Facettenaugen abgeleitet wurde.

Die vorgestellten Bildverarbeitungsmethoden ermöglichen die Verbesserung des Bildkontrasts (Abb. 4). Unter Verwendung des Wiener Filters wurde für eine schräge Kante eine Erhöhung der Kontrastübertragung von 48 % bei einer Frequenz von 0,4 Cycles/Pixel gemessen (Abb. 5).

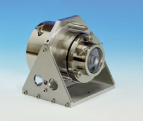
Abb. 1: Funktionsweise eines künstlichen Facettenaugenobjektivs.

Fig. 1: Working principle of a planar artificial apposition compound-eye objective.



Literatur:

- [1] Duparré, J.; Dannberg, P.; Schreiber, P.; Bräuer, A.; Tünnermann, A.: Thin compound-eye camera, Appl. Opt. 44 (15), pp. 2949–2956 (2005).



In nature many small invertebrates present apposition compound eyes, which combine small size with a large field of view but also low spatial resolution. Based on these principles an artificial compound-eye imaging system has been developed [1] consisting of one planar array of microlenses positioned on a spacing structure (Fig. 1) and coupled to a commercial CMOS optoelectronic detector array of different pitch, providing different viewing directions for the individual optical channels. These sensors are designed for a minimum total track length, a high degree of integration with the optoelectronics which makes them potentially low cost (Fig. 2).

We implemented image processing methods to further increase the resolution of the images captured with the thin compound-eye sensor. The first step is to select the pixels of the sensor that correspond to the different channels of the microlens array, which exhibit a lower fill factor than the CMOS sensor used. A program

automatically selects the pixels which correspond to the channels of the microlens array taking into account possible misalignment between the sensor pixels and the lenslets (Fig. 3). The coordinates of useable pixels are then saved in a look-up-table.

Then another program uses the look-up-table to display the image as it is seen through the compound-eye objective. We implemented different modes to display the image: using one or more pixels per channel, removing the dark signal noise or increasing the contrast by a normalization using a histogram stretching method.

As another option a Wiener filter can be used to process the image in real time. This is one of the more extended methods for linear image restoration, which allows restoring the image when the degradation introduced by the optical system is known while taking into account the noise introduced in the detection step. For computing the Wiener filter it is necessary to know the frequency response of the system.

This can be obtained by performing the Fourier transform of the angular sensitivity function (ASF) of the system. The expression of this term can be analytical complex, but it is possible to use a Gaussian approximation derived for natural compound eyes.

The processing methods allow increasing the contrast of the images (Fig. 4). In particular, when using the Wiener filter, with the image of a slanted edge, the spatial frequency response of the system is increased over a 48 % for a frequency of 0.4 cycles/pixel (Fig. 5).

Abb. 2: Ultra-dünner Bildsensor.

Fig. 2: Ultra-thin compound-eye sensor.

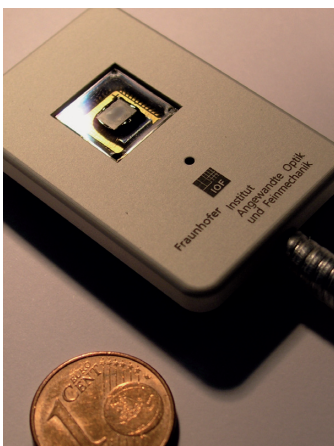


Abb. 3: Schematische Darstellung des Kalibrierungsvorgangs.

Fig. 3: Scheme of the channel selection.

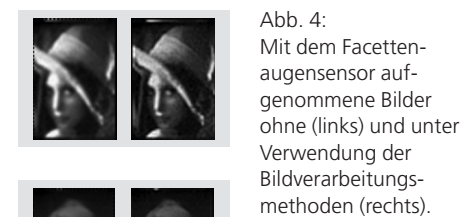
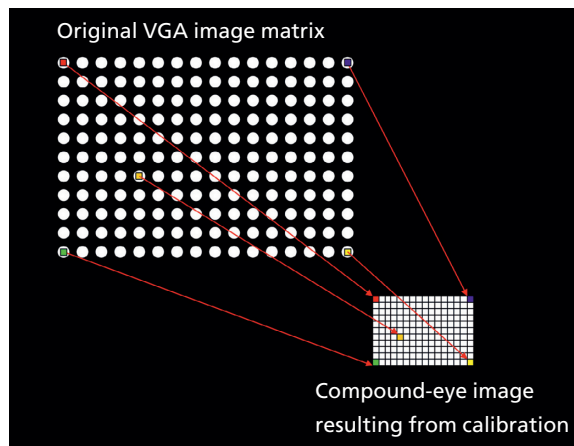


Abb. 4: Mit dem Facettenaugensensor aufgenommene Bilder ohne (links) und unter Verwendung der Bildverarbeitungsmethoden (rechts).

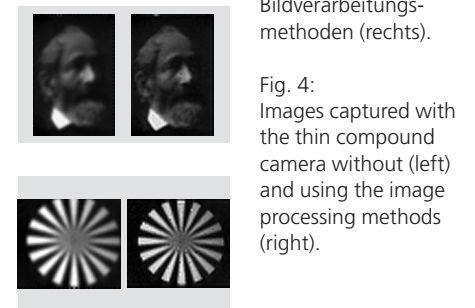


Fig. 4: Images captured with the thin compound camera without (left) and using the image processing methods (right).

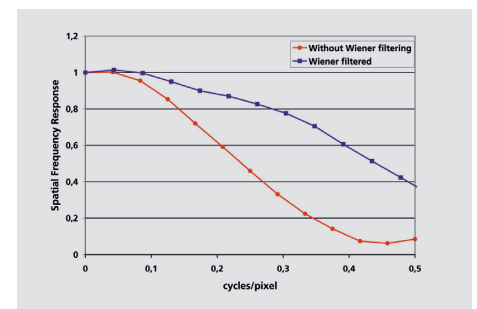


Abb. 5: Gemessene Modulationstransferfunktion mit und ohne Wiener Filter.

Fig. 5: Spatial frequency response of a slanted edge with and without using the Wiener filter.