

## Gute Bilder – bessere Resultate (Teil 2)

07. August 2015

### Computer Vision

*Der erste Teil des Artikels behandelte jene Stufen der Image Processing Pipeline, die für die Aufbereitung von Farbbildern nötig sind. Es wurde gezeigt, wie ein CMOSBildsensor eine Szene im BayerFarbraum abbildet und wie sich die RGBFarbwerte rekonstruieren lassen. Zuletzt wurde ein Algorithmus für den lokalen Weissabgleich vorgestellt, der farbliche Verschiebungen korrigiert, die infolge der Farbtemperatur der Lichtquelle entstehen können. Die LinsenEntzerrung, die Farbkalibration und die Gammakorrektur vervollständigen die Pipeline und sind im Folgenden beschrieben.*

Die hier behandelte Pipeline wurde für die O-3000 Kamera von Stettbacher Signal Processing (SSP) implementiert. Der SourceCode ist frei unter [www.opencam.ch](http://www.opencam.ch) erhältlich. Dem Anwender der O-3000 Kameras werden keine künstlichen Hürden in den Weg gelegt und alle für die Anwendung der Kamera notwendigen Informationen stehen zur Verfügung. Insbesondere sind die InterfaceSpezifikationen sowie alle Treiber inkl. Quellcode frei erhältlich. Zudem sind alle Beispielprogramme offengelegt. Sie können nach Belieben verwendet und für die eigenen Bedürfnisse angepasst werden.

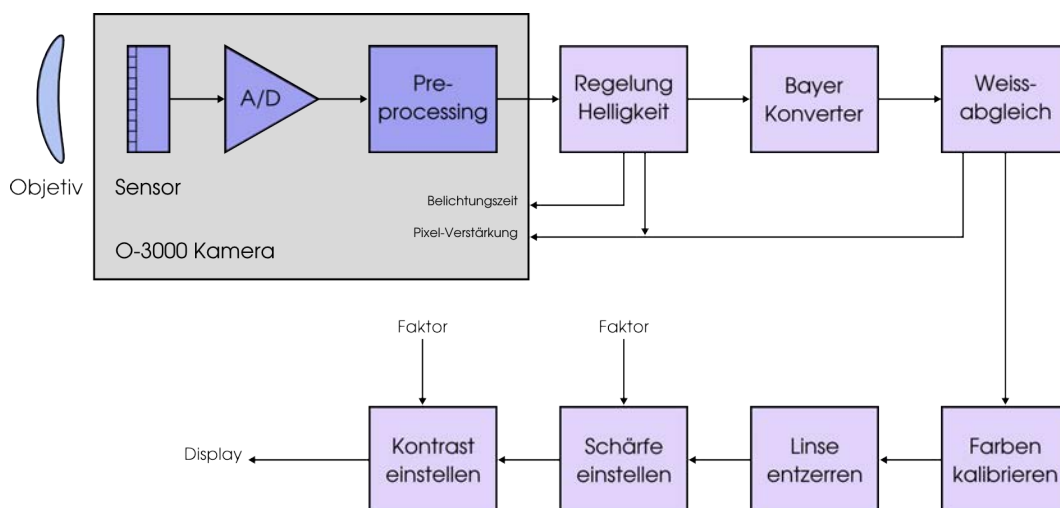


Bild 1: Image Processing Pipeline.

### Farbkalibration

Wenn unterschiedliche Kamerasysteme die gleiche farbige Oberfläche aufnehmen, dann resultieren verschiedene RGBWerte. Der Grund liegt auf der Hand, da die Kameras unterschiedliche elektrische wie auch optische Eigenschaften haben. Beispielsweise variiert die Belichtungszeit, es

werden andere analoge Pixelverstärkungen verwendet oder es handelt sich überhaupt um unterschiedlich aufgebaute Sensoren, mit je eigenen elektischen Eigenschaften. Ferner können sich Linsen und Blenden optisch unterscheiden. Weiter wird sich die farbig fotografierte Oberfläche von der menschlichen Wahrnehmung unterscheiden, da Bildsensoren nicht die gleiche spektrale Empfindlichkeit wie das menschliche Auge aufweisen. Um die Farben realitätsgetreu wiederzugeben, müssen die kameraspezifischen RGBWerte korrigiert werden. Dazu muss die Kamera mit Hilfe von Referenzfarben kalibriert werden. Oft verwendet man dafür eine sogenannte ColorChecker Grafik, die verschiedene bekannte Farbflächen enthält. Die Farbflächen entsprechen Punkten in einem bekannten StandardFarbraum. Als Beispiel wird sRGB als StandardFarbraum verwendet. Beim Kalibrationsprozess wird die ColorChecker Grafik fototografiert und mit den tatsächlichen Farbwerten verglichen. Daraus wird eine Transformationsgleichung abgeleitet. Für die Farbkalibration eignet sich eine 3x3-Korrekturmatrix M.

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Bild 2: 3x3-Korrekturmatrix M.

Die Korrekturmatrix M bildet den kameraspezifischen Farbraum in den sRGBFarbraum ab. Um M zu berechnen, muss ein überbestimmtes Gleichungssystem gelöst werden, da der ColorChecker insgesamt 24 Farbwerte definiert und die Matrix M nur 9 unbekannte Werte umfasst. Das Gleichungssystem löst man mit Vorteil nach dem Verfahren der kleinsten Quadrate. In der folgenden Bilderserie zeigen die ersten beiden Abbildungen den Zustand vor und nach der Farbkorrektur.

## Linsen Entzerrung

Wäre ein Objektiv nur annähernd perfekt, dann würden Verzeichnungen nicht weiter ins Gewicht fallen und könnten vernachlässigt werden. Die Qualität des Linsensystems widerspiegelt sich in der Regel direkt im Kaufpreis. Speziell bei kostengünstigeren Objektiven, bei denen auf eine optische Kompensation verzichtet wird, sind Verzerrungen ausgeprägter. Glücklicherweise sind sie konstant und können korrigiert werden. Es gibt kissenförmige und tonnenförmige Verzeichnungen (siehe Bild 3).

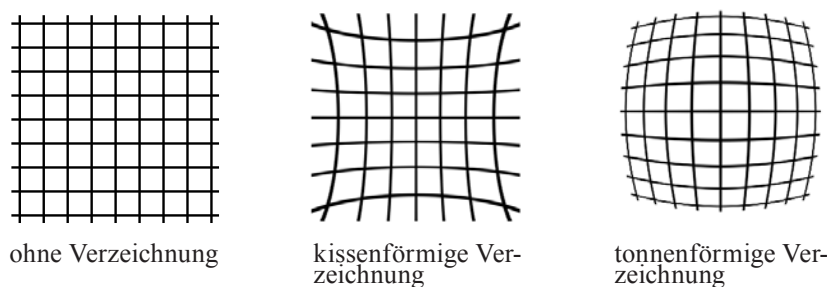


Bild 3: Linsenverzeichnung.

Beide Formen können auch überlagert auftreten und werden als radiale Verzeichnung bezeichnet. Ferner entsteht eine tangentielle Verzeichnung, wenn die Linse nicht exakt parallel zur Achse der Bildsensorfläche ausgerichtet ist. Die Summe der Verzerrungen lassen sich messen, indem ein definiertes geometrisches Muster aufgenommen wird. Als Referenz eignet sich ein Schachbrettmuster. Durch Vermessen des damit aufgenommenen Bildes entsteht ein geometrisches Modell der Verzeichnung, resp. der benötigten Korrektur. Mit Hilfe dieses Modells lässt sich die Verzerrung leicht rechnerisch kompensiert.

## Schärfekorrektur

Ein Bild wirkt unscharf oder verschwommen, wenn harte Kanten weich gezeichnet werden. Das menschliche Auge erkennt eine Unschärfe sofort, da es auf Helligkeitsänderungen sehr empfindlich reagiert. In der Bildverarbeitung gibt es verschiedene Ansätze, um die Schärfe eines Bildes zu erhöhen. Dabei nimmt übrigens die Information im Bild nicht zu. Es werden lediglich gewisse Aspekte der bestehenden Information für das menschliche Auge sichtbar gemacht.



Bild 4: Bildkorrekturen.

Ein Bild kann einfach geschärft werden, indem es hochpassgefiltert wird. Oft ist das Resultat aber wenig erfreulich, weil das Hochpassfilter auch das Bildrauschen verstärkt, vor allem auch dort, wo gar keine Kanten sind (siehe Abbildung (e) in der folgenden Bildserie). Das Verfahren lässt sich verbessern, indem nur dort gefiltert wird, wo es Kanten gibt. Im Detail geht man beim sog. lokalen Schärfefilter so vor (vergleiche die Abbildungen in der folgenden Bildserie):

- Zuerst wird das Bild (a) in den LAB-Farbraum transformiert. In diesem Farbraum ist die Helligkeit allein im L-Kanal definiert (b), die reine Farbinformation in den zwei Farbkanälen A und B.
- Um Farbverschiebungen an den Kanten zu vermeiden, wird im Folgenden allein der L-Kanal (b) geschärft.
- Zuerst muss aus dem L-Kanal eine Maske gebildet werden, die alle lokalen Regionen markiert, die geschärft werden sollen. Dazu wird eine Kantendetektion durchgeführt, wobei nur Kanten mit einem minimalen Gradienten (Schwellwert oberhalb der Rauschamplitude) berücksichtigt werden. Die so gefundene Maske (c) wird anschliessend mit einem gaussischen Tiefpassfilter leicht geglättet.
- Im L-Kanal werden nun genau die Regionen in der Maske durch einen Hochpassfilter geschärft. Das resultierende Bild wird wieder in den RGB-Farbraum zurück transformiert. Um Farbverschiebungen an den Kanten zu vermeiden, wird im Folgenden allein der L-Kanal (b) geschärft.

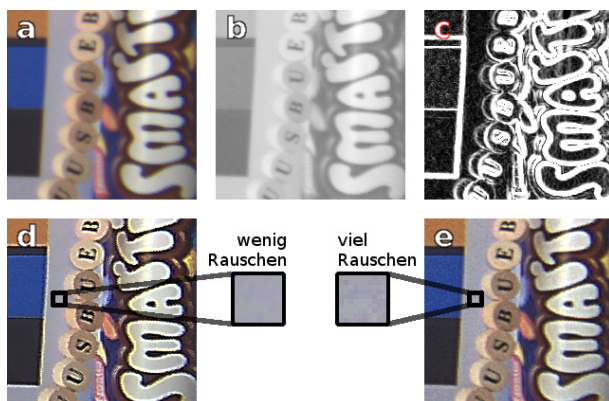


Bild 5: Schärfekorrektur

- a: Farb und linsenkorigiertes Bild.
- b: L-Kanal nach der LAB-Transformation.
- c: Schärfemaske basierend auf einer Kantendetektion mit Tiefpassfilterung.
- d: Lokal geschärftes Bild. In den Flächen wird Rauschen nicht verstärkt.
- e: Global geschärftes Bild. In den Flächen wird das Rauschen verstärkt.

## Gammakorrektur

Nicht selten gibt es in einem Bild Bereiche, die viel zu dunkel oder viel zu Hell sind. In diesen Bereichen sind praktisch keine Objekte erkennbar. Betrachte als Beispiel in der Bildsequenz daneben das erste Bild. Obwohl der Vordergrund an sich nicht zu dunkel ist, erkennt man oberhalb des dargestellten Gerätes nur ein fast schwarzes Feld. Darin verbergen sich aber noch viele Details. Die Gammakorrektur macht sie sichtbar.

Ursprünglich wurde die Gammakorrektur entwickelt, um das nicht-lineare Verhalten von Röhrenmonitoren zu kompensieren. Der Gammawert ist ein Mass für die Stärke einer nichtlinearen Helligkeitstransformation. Damit werden entweder dunkle oder helle Bildbereiche für das menschliche Auge bezüglich der Helligkeit gestreckt. Dabei wird für die Abbildung eine einfache Potenzfunktion verwendet. Gammawerte, die kleiner sind als 1.0 sind, hellen dunkle Szenen auf, während sich die hellen Pixel nur wenig ändern. Das Gegenteil geschieht bei Gammawerten, die grösser als 1.0 sind.

Im Beispielbild wird nun der dunkle Hintergrund schrittweise mit immer kleineren Gammawerten aufgehellt. Dabei wird der Raum hinter dem Vordergrund deutlich sichtbar. Auch der Vordergrund wird leicht aufgehellt, aber viel weniger stark als der Hintergrund. Sollten gewisse Elemente des Bildes am Ende zu hell geworden sein, so kann dies über eine lineare Abdunkelung korrigiert werden, ohne dass die Hintergrund dabei wieder schwarz wird.

*Autor: Patrick Roth und Dr. Jürg M. Stettbacher,  
Stettbacher Signal Processing, CH-8600 Dübendorf.*



Bild 6: Gesamtkorrektur.

Stettbacher Signal Processing AG bietet seit 20 Jahren F+E Dienstleistungen an für anspruchsvolle Projekte in den Bereichen elektronische Mess-, Steuer-, Regelungs-, Antriebs- und Kommunikationstechnik für industrielle Analytik, Qualitätssicherung, Medizin, Pharma, Verteidigung und Training. Die Firma setzt die O-3000 Kameras in eigenen Projekten ein und vertreibt sie erfolgreich auf dem Markt.

Stettbacher Signal Processing AG  
dsp@stettbacher.ch  
www.stettbacher.ch  
+41 43 299 57 23

Neugutstrasse 54  
CH-8600 Dübendorf

