

# Automatische Kalibriermustererkennung

Benjamin Knopp

Dietrich Paulus

Wolfram Hans

Universität Koblenz-Landau

Arbeitsgruppe Aktives Sehen

{bknopp,paulus,hans}@uni-koblenz.de,

<http://www.uni-koblenz.de/agas>

## Zusammenfassung

Der folgende Beitrag stellt ein Verfahren zur automatisierten Detektion von Farbkalibriermustern unter Verwendung von Farb- und Geometriemerkmalen vor und bietet einen Einblick in die zugrunde liegenden Annahmen und Methoden.

**Schlüsselwörter:** Farbkalibrierung, Objekterkennung, Farbsegmentierung, Abstandsmaße

## 1 Einleitung

In vielen Anwendungsgebieten der digitalen Bildverarbeitung werden hohe Anforderungen an die Farbtreue des verwendeten Bildmaterials gestellt. Hierzu stützen sich diverse Verfahren, wie etwa [4, 3], auf die Auswertung von im Bild enthaltener Kalibriermuster. Benutzerinteraktionen sind während des Aufnahmeprozesses in vielen Fällen nicht möglich oder aufgrund der Größe der zu verarbeitenden Bildmengen nicht erwünscht. Aus diesen Umständen leitet sich die Notwendigkeit ab, geeignete, nicht interaktive Detektionsverfahren zu entwickeln. Im Folgenden wird ein Verfahren vorgestellt, welches sowohl anhand von Farb- als auch Geometriemerkmalen die Position eines farbigen Kalibrierusters im Bild ermittelt und sich dabei robust gegen Störungen durch weitere Bildinhalte erweist. In Abschnitt 2 werden die grundlegenden Probleme und der sich daraus ableitende Aufbau des Verfahrens vorgestellt. Eine genauere Betrachtung des Suchraums als auch der Lageschätzung (3) schließen sich an. Die Erfordernisse an die verwendeten Farbähnlichkeitsmaße und die in diesem Kontext durchgeführten Experimente werden in den Kapiteln 4 bzw. 5 erläutert.

## 2 Detektion von Kalibriermustern

Bestehende Verfahren zur Detektion von Farbkalibrierungstafeln (z. B. [2]) - wie etwa der *x-Rite*<sup>©</sup> Farbkarte<sup>2</sup> mit 24 Farbfeldern - stützen sich häufig auf die Überführung von parametrisierbaren geometrischen Primitiven aus Kantenbildern in den Hough-Raum, berücksichtigen damit jedoch in einer initialen Phase die Farbmerkmale des

---

<sup>1</sup><http://www.uni-koblenz.de/kopid>

<sup>2</sup><http://www.xrите.com>



(a) Originalbild



(b) Detektionsergebnisse

Abbildung 1: Beispiel aus dem KOPID<sup>1</sup> Bestand

Kalibrierungsmusters nicht.

Der vielfach in diesem Kontext verwendete Ansatz, mittels Schnittpunktdetektion von Linien im Hough-Raum die Lage eines Kalibrierungsmusters zu ermitteln wird mit zunehmender Szenenkomplexität problematischer, da alle Szenenbestandteile mit geraden Kanten ihren Beitrag zum Suchraum leisten. Neben Geradenschnittpunkten, die durch weitere Szenenbestandteile erzeugt werden, wird die Suche häufig durch *virtuelle Schnittpunkte* gestört, welche durch die Interpretation von Strecken als Linien entstehen. Der hier vorgestellte Ansatz beruht auf der Annahme, dass eine Teilmenge farblich homogener Flächen, welche mittels geeigneter Segmentierungstechniken aus den Bildern generiert werden, der Projektion eines Kalibrierungsmusters in den Bildraum möglichst exakt entsprechend sollte. Hierzu werden die Flächen hinsichtlich Farbinformation, Form und relativer Lage zueinander bewertet. Nach einer initialen

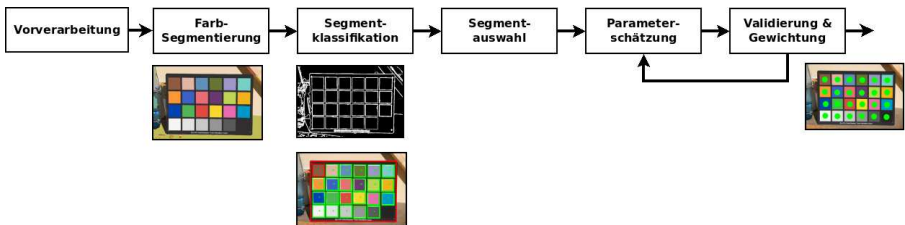


Abbildung 2: Verarbeitungskette zur Kalibrierungsmustererkennung

Vorverarbeitung (siehe Abbildung 2), die im Allgemeinen Rauschminderung und Kontrastverstärkung beinhaltet, werden die Bilder mittels Color Structure Code (CSC) [1] segmentiert und die resultierenden Segmente geometrisch interpretiert. Die so gewonnenen zusammenhängenden Regionen werden durch konvexe Hüllpolygone approximiert und anschließend bezüglich ihrer Zugehörigkeit zum Kalibrierungsmuster bewertet. Gebräuchliche Kalibrierungsmuster beruhen auf einer regelmäßigen Anordnung

von Rechtecken, so dass lediglich Polygone mit exakt 4 größeren Innenwinkeln weiter betrachtet werden müssen. Nahezu gestreckte Winkel, bei welchen sich die beiden anliegenden Schenkel als eine Gerade auffassen lassen, werden hierbei nicht berücksichtigt. Lediglich bei sehr stark verzerrte Rechtecke büßt dieses Vorgehensweise an Zuverlässigkeit ein, jedoch sind die hierfür erforderlichen Betrachtungswinkel des Kalibrierusters für eine spätere Farbmessung wenig praxistauglich. Darüber hinaus werden Nachbarschaftsbeziehungen berücksichtigt, da - auch unter Beachtung perspektivischer Verzerrung - ähnliche Segmente in der lokalen Nachbarschaft zu finden sind.

### 3 Lagebestimmung

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass es sich bei den gesuchten Kalibrierustern um planare Flächen handelt, deren Lage folglich durch die Zuordnung von 4 Punkten bestimmt werden kann. Durch die Auswahl von 4 dem Kalibrieruster zugehörigen Farbsegmenten und deren korrekt Zuordnung zu den Feldern eben dieses Musters lässt sich dessen Lage eindeutig beschreiben. Jedes 4-Tupel aus Farbsegmenten kann also prinzipiell als Referenz zur Lageschätzung herangezogen werden. Dennoch wird aus der Menge möglicher Kombinationen jene ausgewählt, welche den durch ihre konvexe Hülle einbeschriebenen Flächeninhalt maximieren.

Hiermit wird ein Maximum an Stabilität bei der folgenden Homographieschätzung [5] gewährleistet.

Da zu diesem Zeitpunkt das Korrespondenzproblem zwischen segmentierten Flächen und Feldern des gesuchten Kalibrierusters nicht eindeutig gelöst werden kann, gilt es geeignete Hypothesen zu entwickeln. Würde man versuchen das Korrespondenzproblem ohne weitere Einschränkungen kombinatorisch zu lösen, so müsste jeder Eckpunkt mit jedem Feld des Kalibrierusters identifiziert werden, womit die Größe des Suchraums biquadratisch von der Anzahl der Kalibrierusterefelder abhängt. Dieser Raum lässt sich erheblich ausdünnen, wenn sowohl hinsichtlich ihres Farbabstands nicht hinreichend plausible, als auch geometrisch degenerierte Kombinationen ausgeschlossen werden. Als geometrisch degeneriert sind jene Kombinationen anzusehen, bei welchen entweder mindestens 3 Punkte kollinear liegen oder das resultierende Rechteck keinen eindeutigen Umlaufsinn besitzt. Für die verbleibenden Kombinationen wird mittels berechneter Homographie das Kalibriermuster in den Bildraum projiziert und der geometrische Abstand zu den erkannten Segmenten, sowie der farbliche Abstand zu diesen berechnet. Hieraus leitet sich die Übereinstimmung zwischen Projektion und Bildinhalt und damit die Bewertung dieser Hypothese ab.

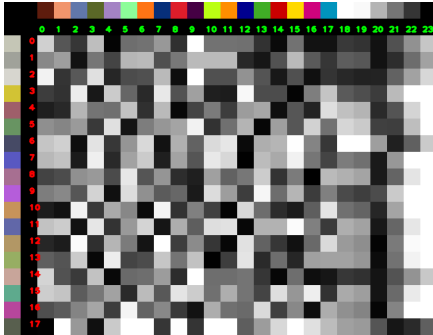
### 4 Farbähnlichkeitsberechnung

Sowohl für die Bewertung der Farbabstände in initialer Lage als auch innerhalb der späteren Projektion, spielt die Wahl des entsprechenden Farbabstandsmaßes eine elementare Rolle. Hierbei meint Farbabstand ganz allgemein den zahlenmäßigen Unterschied und nicht automatisch den Farbabstand  $\Delta E$ .

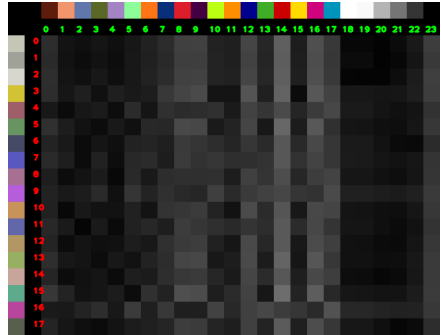
Da man grundsätzlich davon ausgehen muss, dass nicht farbmtrisch kalibriertes Bildmaterial vorliegt, werden die zu erwartenden Abweichungen entsprechend groß ausfallen. Daher wird mit Blick auf die speziellen Anforderungen des Verfahrens der Farbabstand innerhalb verschiedener Kombinationen aus Farbraum und Abstandsmaß empirisch ermittelt. Generell muss in diesem Kontext die Frage beantwortet werden ob ein im Bild gemessener Farbwert  $C_i$  mit einem bestimmten Referenzfarbwert  $C_r$  übereinstimmt. Die möglichen Fehlerfälle sind hierbei genauer zu betrachten, da ihnen ein unterschiedliches Maß an Bedeutung zugesprochen werden muss. Wird die Ähnlichkeit eines dem Bild entstammenden Farbfeldes mit einer Referenzfarbe des Kalibrieremusters fälschlicher Weise als hoch eingestuft, führt dies in der initialen Phase lediglich zu einer zusätzlichen Betrachtung nicht ziel führender Hypothesen. Im weiteren Verlauf kann im Allgemeinen davon ausgegangen werden, dass diese Hypothese wieder verworfen wird, da der ermittelte Farbabstand aller Farbfelder zu ihren entsprechenden Projektionen im Bildraum größer sein wird, als jener der optimalen Lösung. Eine als zu gering eingestufte Ähnlichkeit kann hingegen dazu führen, dass die einzig korrekte Hypothese bereits während der initialen Phase verworfen wird. Da ein Schwellwert für obige Wahrscheinlichkeit schwer zu ermitteln ist, wird, um den Erfordernissen eines parameterfreien Systems mit planbarer Rechenzeit gerecht zu werden, während der Generierung der zur Homographieberechnung benötigten 4er Tupel auf eine *k nearest neighbour* Klassifikation zurück gegriffen. Folglich muss die verwendete Kombination aus Farbraum und darauf definiertem Abstandsmaß dafür sorgen, dass die korrekte Zuordnung von  $C_i$  und  $C_r$  eine der  $k$  höchsten Wahrscheinlichkeiten bezüglich ihrer Übereinstimmung bietet.

## 5 Experimente

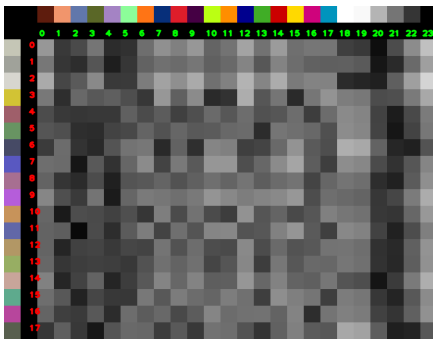
Da die Verträglichkeit üblicher Farbmtriken mit den zuvor genannten Anforderungen schwierig einzuschätzen ist, wurden die Effekte verschiedener Kombinationen aus Farbraum und Ähnlichkeitsmaß empirisch ermittelt und hinsichtlich ihrer Tauglichkeit für den aktuellen Kontext beurteilt. Die hierzu verwendeten Testdatensätze entstammen der KOPID-Bilddatenbank, welche Aufnahmen komplexer Szenen mit verschiedensten Aufnahmeggeräten und Beleuchtungsquellen bietet. Abbildung 3 zeigt exemplarisch die errechneten Farbabstände für die 4 angegebenen Farbraum / Abstandsmaß Kombinationen. Horizontal sind die 24 Felder der *x-Rite*<sup>®</sup> Farbkarte aufgetragen, vertikal die gemittelten Farben der 18 korrekt extrahierten Farbsegmente. Die korrespondierenden Grauwerte entsprechen den ermittelten Farbähnlichkeiten. Dunkle Flächen bedeuten hierbei eine hohe Übereinstimmung. Im Rahmen der durchgeführten Tests hat sich klar gezeigt, dass eine Trennung von Farb- und Helligkeitsinformationen im aktuellen Anwendungskontext einen deutlichen Vorteil bietet, da unter den verwendeten Lichtquellen die beobachteten Helligkeitsunterschiede zwischen Referenz- und Messwert stärker ausfallen, als die entsprechenden Abweichungen etwa im Farbwinkel. Basierend auf den vorhergehenden Beobachtungen wurde ein Farbähnlichkeitsmaß erarbeitet, welches im HSV-Farbraum die Ähnlichkeit zweier Farben in Abhängigkeit von deren Sättigung ermittelt. Im Fall hinreichend gesättigter Farben wird das Hauptaugenmerk auf den Abstand der Farbwinkel gelegt, mit abneh-



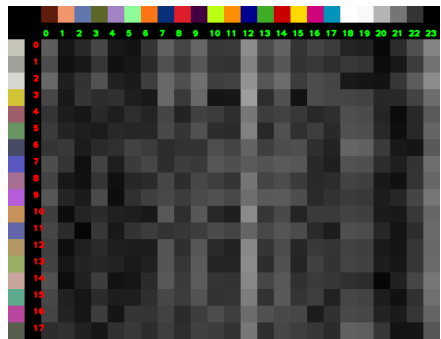
(a) HSV, adaptive Abstandsberechnung



(b) L\*a\*b\*, euklidischer Abstand



(c) RGB, euklidischer Abstand



(d) RGS, euklidischer Abstand

Abbildung 3: Farbabstände in verschiedenen Farbräumen, horizontal: Referenzfarbwerte, vertikal: extrahierte Farbsgemenge

mender Sättigung gewinnt die Dunkelstufe an Bedeutung. Abbildung 3 zeigt unter (a) die hiermit erzielten Ergebnisse. Hervorzuheben ist auch die größere Spreizung der ermittelten Farbbähnlichkeiten.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte Verfahren ermöglicht die Detektion von Kalibriermustern in komplexen Szenen unter Berücksichtigung lediglich weniger geometrischer Einschränkungen. Eine Kombination aus Geometrieinformationen und der Verwendung einfacher, optimistischer Annahmen bezüglich der sich ergebenden Farbabstände, sowohl während der initialen Schritte als auch aller sich anschließenden Phasen resultieren in stabilen Erkennungsraten unter variierenden Lagen und Beleuchtungssituationen. (siehe Abbildung 4) Ein Auszug aus den bisherigen Ergebnissen ist in Abbildung 1 abgebildet, Segmente mit Farbabweichungen außerhalb der zulässigen Grenzen sind hierbei rot



Einfache Orientierung

Komplexere Szene

Beleuchtungsvariation

Synthetische Schrägstellung

Abbildung 4: Lokalisierung der Farbfächen für verschiedene Szenarien von einfach über komplex bis zu synthetischer Rotation, um die Robustheit des Algorithmus zu testen.

hervorgehoben. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden weitere Kalibriermuster, wie etwa das *IT 8.7 Target* oder der *Munsell Digital ColorChecker SG* berücksichtigt und die Ergebnisse an weiteren Datensätzen validiert.

## Literatur

- [1] L. Pries, T. Bergmann, V. Rehrmann, and M. Rothhaar, "Parallele farbsegmentierung mit dem csc," in *Proceedings Parallele Datenverarbeitung aktuell: TAT '94*, Aachen, 26.-27. September 1994, pp. 236–245, IOS Verlag, 9 1994.
- [2] M. Grobe, "Farbkalibrierung mit normiertem farbmuster," Master's thesis, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 2001.
- [3] N. Joshi, B. Wilburn, V. Vaish, M. Levoy, and M. Horowitz, "Automatic color calibration for large camera arrays," tech. rep., Department of Computer Science and Engineering, University of California, San Diego, 5 2005.
- [4] R. L. Lee, "Colorimetric calibration of a video digitizing system: algorithm and applications," *Color Research and Applications*, no. 13, 1988.
- [5] R. I. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press, 2 ed., 2004.