

Farbbasierte Objekterkennung mit einem omnidirektionalen System

A. Maas¹, P. Heim¹, J. Kaluza¹, S. Mitnacht¹, V. Hong¹, P. Maillard², F. Occelli², C. Kurucz¹, D. Paulus¹

¹ Institut für Computervisualistik, Universität Koblenz-Landau, Universitätsstr. 1, 56070 Koblenz – Germany, agas@uni-koblenz.de

² Université de Poitiers, 15, rue de l'Hôtel Dieu, 86034 Poitiers Cedex – France, {pmaillard,foccelli}@gphy.campus.univ-poitiers.fr

Zusammenfassung In diesem Beitrag wird der Einfluß der Farbnormierung und der Farbkalibrierung auf die Performanz der farbbasierten Objekterkennung am Beispiel eines Roboters mit einem omnidirektionalen Kamerasystem untersucht. Der Roboter soll ein Objekt, in diesem Fall einen roten Ball, in einem langen Flur mit stark variierender Beleuchtung finden. Zur Lokalisation wird die Histogrammrückprojektion nach [SB91] eingesetzt. Um den Einfluß der Beleuchtungsänderungen auf die Lokalisation des Objekts zu reduzieren, werden Verfahren zur Farbnormierung und Farbkalibrierung vorgestellt und getestet.

1 Einleitung

Objekterkennung wird in zahlreichen Anwendungsbereichen wie z. B. der Wertstoffsartierung [BEP⁺01] und der Robotik [Hag04] benötigt. Die Lokalisation und Identifikation von Objekten sind hierbei wichtige Aspekte [SB91]. Für die Objekterkennung können verschiedene Merkmale wie z. B. Farbe, Form und Textur verwendet werden. Die Farbe eines Objekts ist weitgehend invariant gegenüber Rotation, Translation und Skalierung des Objekts in der Szene [SB91]. Ein Problem des farbbasierten Ansatzes ist jedoch der Einfluß der variierenden Beleuchtungsverhältnisse, welcher durch die Anwendung von Verfahren zur Farbnormierung und Farbkalibrierung reduziert werden kann.

In diesem Paper wird als Anwendungsszenario ein autonomer mobiler Roboter vorgestellt, der in einem langen Flur mit unterschiedlicher Beleuchtung nach einem Ball sucht. Der Roboter nimmt mit einem omnidirektionalen Kamerasystem seine Umgebung in einer 360° Rundumsicht wahr. Der wesentliche Vorteil dieses Systems besteht darin, daß der Roboter ohne Änderung seiner aktuellen Fahrtrichtung Objekte vor, neben und hinter sich erkennen kann. Da so jedoch sehr verschieden ausgeleuchtete Bereiche der Umgebung gleichzeitig erfaßt werden, wird das genannte Problem der unterschiedlichen Beleuchtungsbedingungen in der Szene verstärkt.

Im weiteren Verlauf wird in Abschnitt 2 das allgemeine Vorgehen zur Lokalisation des Balls in der Szene vorgestellt. In Abschnitt 3 werden Verfahren

zur Farbnormierung und Farbkalibrierung erläutert. Im experimentellen Teil 4 werden die in Abschnitt 3 vorgestellten Verfahren an unterschiedlichen Stellen im Flur für verschiedene Ballpositionen getestet und ausgewertet. Das Paper schließt in Abschnitt 5 mit einer Zusammenfassung der Erkenntnisse und einem Ausblick für zukünftige Arbeiten ab.

2 Vorgehen

In Abbildung 1 ist die Verarbeitungskette für die Lokalisation des Balls in der Szene aufgeführt. Während der Ballsuche nimmt der Roboter mit einem omnidirektionalen System Bilder von seiner Umgebung mit variierenden Beleuchtungsbedingungen auf. Eine aufgenommene Szene wird zunächst in eine beleuchtungs-invariante Szene transformiert. Dieser Schritt wird in Abschnitt 3 näher vorgestellt. Im nächsten Schritt wird aus der Szene mit Hilfe einer Maske derjenige Ausschnitt entfernt, in dem sich der Roboter befindet. Die eigentliche Lokalisation des Balls in der Szene wird mit der Histogrammrückprojektion nach [SB91] realisiert. Zur Verbesserung der Lokalisation werden weitere Nachverarbeitungsschritte wie morphologische Operationen ausgeführt.

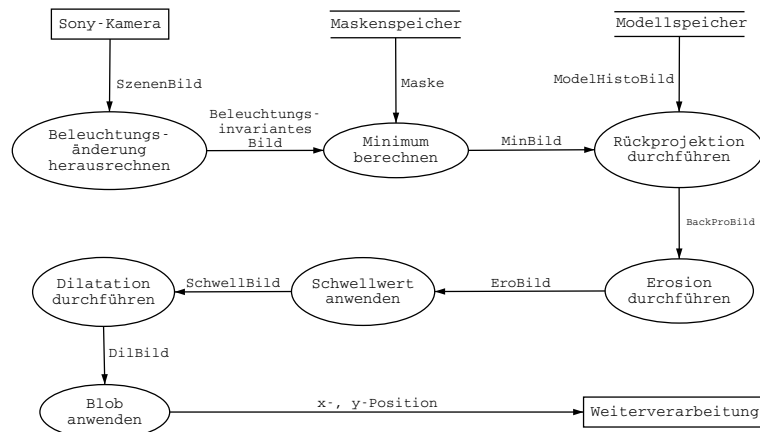


Abbildung 1. Verarbeitungskette zur Lokalisation des Balls

3 Farbkonstanz

Der Mensch verfügt über die Fähigkeit, die Farben eines Objekts unter verschiedenen Lichtverhältnissen als dieselbe wahrzunehmen [Pau01]. Dieses als Farbkonstanz bekannte Phänomen läßt sich jedoch nicht ohne Weiteres auf den

Rechner übertragen. Im Folgenden werden Verfahren zur Farbnormierung (s. Abschnitt 3.1) und Farbkalibrierung (s. Abschnitt 3.2) vorgestellt, die das aus den Beleuchtungsänderungen resultierende Problem reduzieren bzw. eliminieren.

3.1 Farbnormierung

Ziel der Farbnormierung ist es, eine Szene mit unbekannter Beleuchtung in eine beleuchtungsinvariante Szene zu transformieren [BCF02,FX02]. Zur Farbnormierung existieren zahlreiche Ansätze [DHP03]. Eine detaillierte Beschreibung der in Abschnitt 4 evaluierten Verfahren findet sich in [Pau01, S. 63 – 70].

Chromatizitätsnormierung Die Chromatizitätsnormierung errechnet aus einer gegebenen Szene ein von der Beleuchtungsintensität unabhängiges Bild (vgl. z. B. [FSC98]), indem jeder Farbpixel durch seine Intensität dividiert wird.

CCN (Comprehensive Color Normalization) Das in [FSC98] vorgestellte, iterative Verfahren erweitert die Chromatizitätsnormierung, indem es aus einem Bild sowohl den Einfluß der Beleuchtungsgeometrie als auch den der Beleuchtungsfarbe auf die Szene entfernt.

Pomierski Das physiologisch motivierte Verfahren nach Pomierski aus [PG95] betrachtet die im Bild vorkommenden Farbwerte als Punktwolke. In Anlehnung an die Grauweltannahme [Pau01, S. 105] wird hierzu die erste Hauptachse des Farbclusters auf die Weiß-Schwarz-Achse (WB-Achse) im Gegenfarbraum rotiert.

Rotation im RGB Das in [Pau01, S. 106 ff.] vorgestellte Verfahren lehnt an das Verfahren aus [PG95] an. Die erste Hauptkomponente des Farbclusters wird hierbei jedoch nicht auf die WB-Achse des physiologisch motivierten Raums, sondern auf die Hauptdiagonale des RGB-Raums rotiert. Im Allgemeinen liefert dieser Ansatz wie das Verfahren von Pomierski für den menschlichen Betrachter intuitivere Ergebnisse.

3.2 Farbkalibrierung

Die in diesem Paper verwendete Farbkalibrierung dient dazu, ein Bild einer Szene mit unbekannter Beleuchtung in ein Bild mit einer zuvor definierten Beleuchtungssituation zu überführen. Für die Kalibrierung werden Farbcharts eingesetzt, die aus Farbflächen bzw. Farbpatches bestehen. Die Farbwerte und spektralen Reflektivitäten der einzelnen Farbpatches sind bekannt oder können mittels eines Spektralphotometers bestimmt werden. Diese Angaben beziehen sich auf eine bestimmte Beleuchtungssituation. Das allgemeine Vorgehen besteht darin, eine Szene, welche ein bekanntes Kalibrieremuster enthält, unter einer unbekanntenen Beleuchtung aufzunehmen. Aus den bekannten Informationen der Charts und den ermittelten Farbwerten des Charts aus dem aufgenommenen

Bild wird eine Transformationsmatrix berechnet. Mit Hilfe dieser Transformationsmatrix wird das Bild in ein Bild mit bekannter Beleuchtung überführt.

Die in diesem Paper verwendeten Verfahren basieren auf [Mic04], in dem eine Farbkalibrierung mittels linearer Transformation vorgestellt wird. Im weiteren Verlauf wird nicht auf das Verfahren aus [Mic04] näher eingegangen, da dieses den Rahmen des Beitrags sprengen würde.

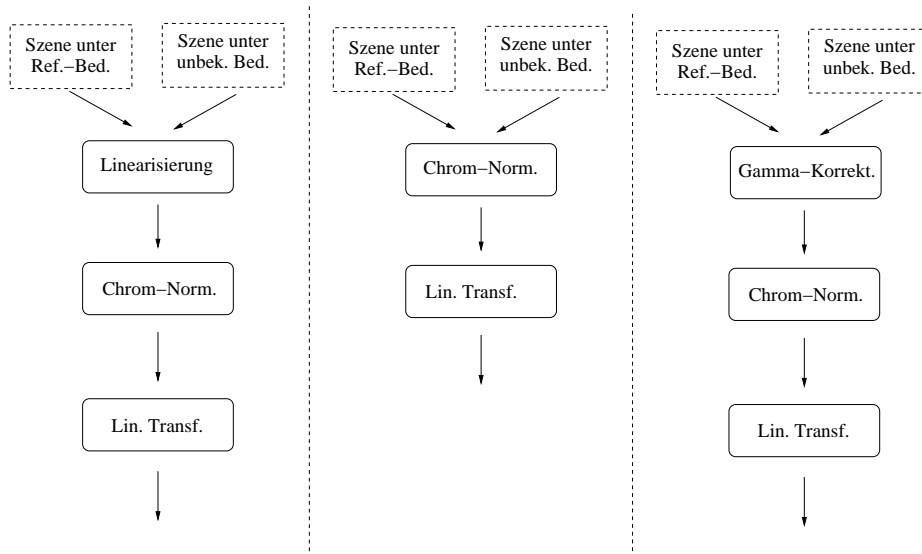


Abbildung 2. Angepasste Verarbeitungskette zur Farbkalibrierung

Für die Lokalisation des Balls wird die in Abbildung 2 aufgeführte, auf [Mic04] basierende Verarbeitungskette zugrundegelegt. Die lineare Transformation wird zum einen mit einer reinen Chromatizitätsnormierung, zum anderen mit einer RGB-Linearisierung mit anschließender Chromatizitätsnormierung eingesetzt. Weiter wird anstelle der Linearisierung die Gammakorrektur mit der Chromatizitätsnormierung kombiniert.

Es wurde ein eigenes Kalibriermuster entwickelt, welches auf dem Roboter montiert wurde, damit es in jedem aufgenommenen Bild enthalten ist (vgl. Abbildung 5). Die Farbpatches wurden unter der Standardbeleuchtung D50 mit einem Spektralphotometer vermessen³. Zwar sind zahlreiche (standardisierte) Farbkalibriermuster von verschiedenen Herstellern erhältlich, allerdings haben sich diese aufgrund der Konstruktion des Roboters mit dem omnidirektionalen System als ungeeignet erwiesen. Das selbst entwickelte Kalibriermuster enthält

³ Dank an Herrn Prof. W. Slowak, Fachhochschule Koblenz

u. a. Graupatches und weitere Farbpatches, die das komplette sichtbare Spektrum möglichst gut repräsentieren sollen.

4 Experimente

Für die Experimente wurde der Roboter wie in Abbildung 3 an vier Positionen im Flur mit unterschiedlichen Beleuchtungsbedingungen plaziert. An jeder der vier Positionen wurde ein roter, matter Ball in unterschiedlichen Entfernungen (1m hinter, 0m, 1m, 2m und 3m vor dem Roboter) und Ausrichtungen (links, mittig, rechts) zum Roboter positioniert (s. Abbildung 4).

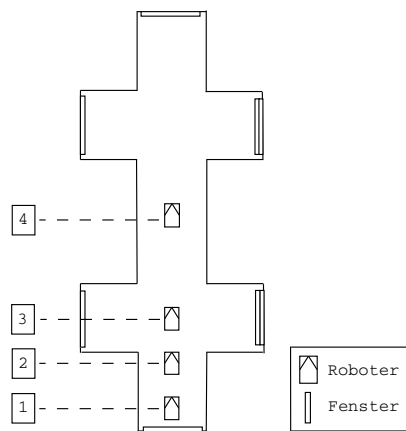


Abbildung 3. Positionen des Roboters im Flur

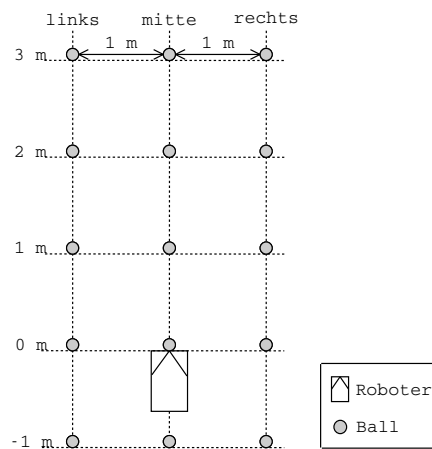


Abbildung 4. Relative Ballposition zum Roboter

Insgesamt wurden $4 \cdot 5 \cdot 3 = 60$ Szenenbilder für die Evaluation des Einflusses verschiedener Farbnormierungs- und Farbkalibrierungsverfahren auf die Lokalisation des Balls in der Szene eingesetzt (vgl. Abbildung 5). Die aufgenommenen Bilder werden dabei nach der in Abbildung 1 aufgeführten Verarbeitungskette in Kombination mit den in Abschnitt 3.1 und 3.2 vorgestellten Verfahren bearbeitet.

Zur Bewertung der Güte der Lokalisation wird die Erkennungsrate des Balls in der Szene in Abhängigkeit von der Distanz des Balls zum Roboter ermittelt. Die Ergebnisse der Experimente sind in Abbildung 6 und 7 jeweils separat nach der Ausrichtung des Balles aufgeführt. Dabei ist auf der x-Achse die Entfernung des Balls von der Nulllinie des Roboters (siehe Abbildung 4) in Meter aufgetragen. Auf der y-Achse ist die durchschnittliche Anzahl der erfolgreichen Lokalisationen an den vier Positionen im Flur in Abhängigkeit von der Ballposition aufgeführt.

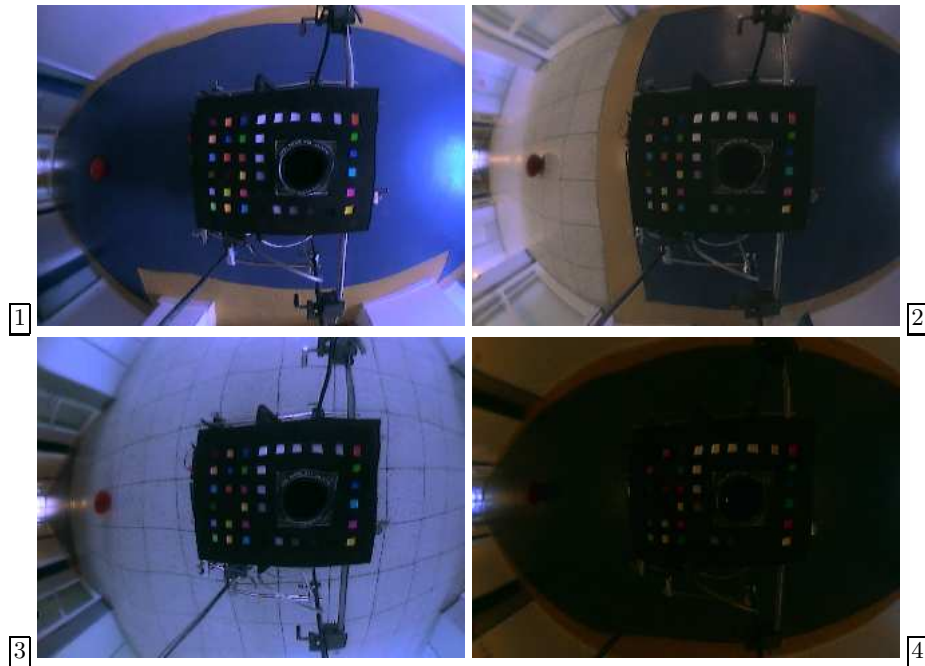


Abbildung 5. Beispiel-Eingabebilder an den vier Positionen

4.1 Experimente zur Farbnormierung

Die Diagramme aus Abbildung 6 stellen die Ergebnisse der getesteten Verfahren für die drei möglichen Ausrichtungen des Balls dar.

Die geringsten Erkennungsraten weisen die Farbclusterrotationen im RGB- und Gegenfarbraum auf, wobei hier die Ergebnisse teilweise sogar schlechter ausfallen, als wenn keine Farbnormierung eingesetzt wird.

Bessere Ergebnisse liefert die Chromatizitätsnormierung, da diese den Einfluß der Beleuchtungsintensität auf die Szene reduziert.

Die besten Ergebnisse liefert das CCN-Verfahren, da dieses im Vergleich zur Chromatizitätsnormierung zusätzlich den Einfluß der Beleuchtungsfarbe auf die Szene berücksichtigt. Für alle drei Ballausrichtungen liefert letztgenanntes Verfahren die maximale Trefferquote. Damit kann ein in der Umgebung beliebig positionierter Ball mittels eines omnidirektionalen Systems stets gefunden werden.

4.2 Experimente zur Farbkalibrierung

Die Diagramme aus Abbildung 7 repräsentieren die Ergebnisse der Balldetektion mittels Farbkalibrierung ⁴.

⁴ Die hier aufgeführte Chromatizitätsnormierung und die Chromatizitätsnormierung der Farbnormierung sind verschieden.

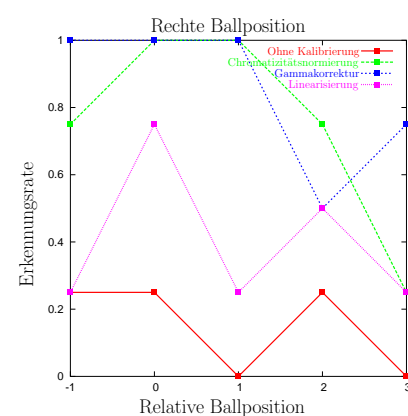
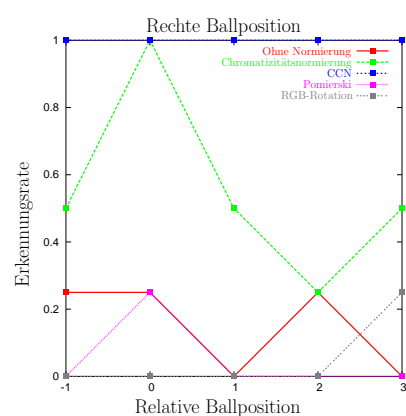
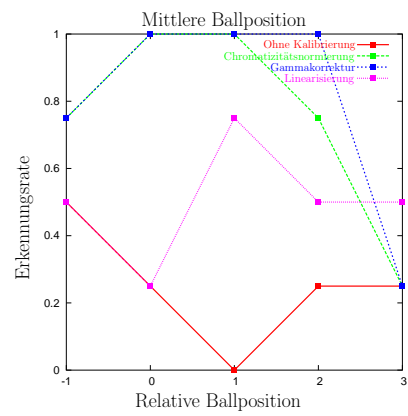
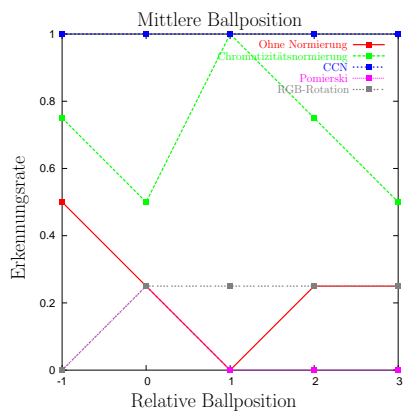
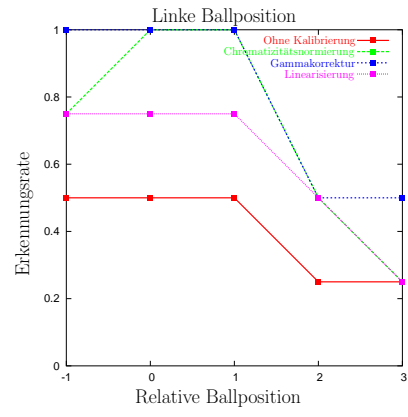
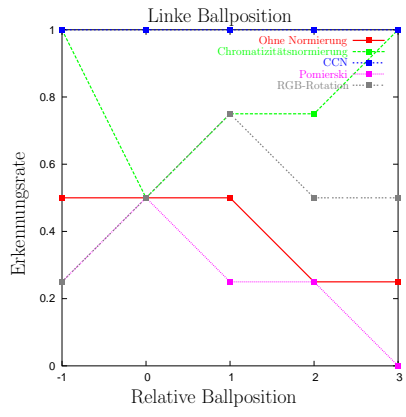


Abbildung 6. Lokalisation mittels Farbnormierung

Abbildung 7. Lokalisation mittels Farbkalibrierung

Die Linearisierung liefert die schlechteste Erkennungsrate, welche allerdings besser ist als diejenige, die ohne Farbkalibrierung erreicht wird. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Erkennungsrate und Balldistanz oder Ballausrichtung ist bei diesem Verfahren nicht erkennbar.

Mittels der Chromatizitätsnormierung erhält man sehr gute Ergebnisse, falls sich der Ball weniger als 1m vor dem Roboter befindet. Mit zunehmender Entfernung nimmt jedoch die Erkennungsrate teilweise drastisch ab.

Die Gammakorrektur liefert ähnliche Ergebnisse wie die Chromatizitätsnormierung, jedoch sind die Lokalisationsraten für Entfernungen größer als 1m in der Regel besser als die der Chromatizitätsnormierung.

5 Fazit

In diesem Paper wurde der Einfluß verschiedener Verfahren zur Farbnormierung und Farbkalibrierung auf die Lokalisation eines roten, matten Balls in einem Flur untersucht.

Die Evaluation hat ergeben, daß die insgesamt besten Ergebnisse das CCN-Verfahren aus [FSC98] liefert.

Beim Vergleich der Farbnormierungsverfahren fällt auf, daß die Farbclusterrotationsverfahren aus [Pau01] und [PG95] bei der Objekterkennung deutlich schlechter abschneiden als die anderen Verfahren.

Bei den Farbkalibrierungsverfahren liefern die Gammakorrektur und die Chromatizitätsnormierung ähnlich gute Ergebnisse.

Zur Steigerung des Einflusses der Farbkalibrierungsverfahren auf die Lokalisation eines Objekts wäre eine weitere Evaluation hinsichtlich der Materialien der Farbcharts und der Komposition des Kalibrieremusters sinnvoll.

Da sich die vorgestellten Ergebnisse auf ein anfangs festgelegtes, eindeutig wiedererkennbares Objekt beziehen, ist in zukünftiger Arbeit zu erproben, wie die Ergebnisse der Experimente für die Lokalisation eines komplexeren Objekts ausfallen.

Literatur

- [BCF02] Kobus Barnard, Vlad Cardei, and Brian V. Funt. A comparison of computational color constancy algorithms – part i: Methodology and experiments with synthesized data. In *Transactions on Image Processing* [IEE02].
- [BEP⁺01] Dirk Balthasar, Thomas Erdmann, Johannes Pellenz, Volker Rehrmann, Jörg Zeppen, and Lutz Priebe. Real-time detection of arbitrary objects in alternating industrial environments. In *Proceedings Scandinavian Conference on Image Analysis*, 1:321–328, 6 2001.
- [DHP03] Detlev Droege, Vinh Hong, and Dietrich Paulus. Farbnormierung auf langen Bildfolgen. In Franke [Fra03], pages 107–112.
- [Fra03] Karl-Heinz Franke, editor. *9. Workshop Farbbildverarbeitung*, Ilmenau, 2003. Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e.V.

- [FSC98] Graham D. Finlayson, Bernt Schiele, and James L. Crowley. Comprehensive colour image normalization. *Lecture Notes in Computer Science*, 1406:475–490, 1998. 1406.
- [FX02] Graham D. Finlayson and Ruixia Xu. Non-iterative comprehensive normalisation. In *Proceedings of the First international Conference CGIV [Soc02]*, pages 159–163. Uni Koblenz Bib Signatur: INF 2003/4765.
- [Hag04] Matthias Hagler. Reaktive hindernisvermeidung für einen mobilen roboter. Master’s thesis, Technische Universität Graz, 2004.
- [IEE02] IEEE Computer Society. *Transactions on Image Processing*, 2002.
- [Mic04] Jochen Michel. Farbkalibrierung mittels linearer Transformation. Studienarbeit, 2004.
- [Pau01] Dietrich Paulus. *Aktives Bildverstehen*. Der Andere Verlag, Osnabrück, 2001.
- [PG95] T. Pomierski and H. M. Groß. Verfahren zur empfindungsgemäßen Farbumstimmung. In Sagerer et al. [SPK95], pages 473–480.
- [SB91] Michael J. Swain and Dana H. Ballard. Color indexing. *International Journal of Computer Vision*, 7(1):11–32, 11 1991.
- [Soc02] The Society for Imaging Science and Technology. *Proceedings of the First international Conference CGIV*, Poitiers, France, 4 2002. Uni Koblenz Bib Signatur: INF 2003/4765.
- [SPK95] G. Sagerer, S. Posch, and F. Kummert, editors. *Mustererkennung 1995*, Berlin, 9 1995. Springer Verlag.