

Das Farbkonstanzproblem in der multispektralen Fernerkundung

RAFAEL WIEMKER

Universität Hamburg, II. Institut für Experimentalphysik
Post: FB Informatik / KOGS, Vogt-Kölln-Str. 30, 22527 Hamburg, FRG
Tel: ++ 49 (40) 54715-601, Fax: -572, Email: wiemker@informatik.uni-hamburg.de
<http://kogs-www.informatik.uni-hamburg.de/projects/censis/remotesens.html>

Zusammenfassung. Ein neuer Ansatz zur Farbkonstanz in fernerkundeten multispektralen Bildern wird vorgestellt. Der Ansatz beruht auf einem dichromatischen Beleuchtungsmodell (Sonnen- und Himmelslicht), welches durch *in situ*-Messungen überprüft wurde. Durch eine spektrale Filterung wird alle spektrale Variabilität herausgefiltert, welche möglicherweise nicht von Reflektanzunterschieden, sondern vielmehr durch Beleuchtungsunterschiede hervorgerufen worden sein könnte. Die Beleuchtungsunterschiede ihrerseits werden durch Unterschiede in der Orientierung der beobachteten Oberfläche hervorgerufen. Es wird nicht versucht, die Reflektanz wiederherzustellen, sondern statt dessen wird eine Invariante berechnet. Der Ansatz erlaubt die Abbildung der Spektren auf einen beleuchtungsunabhängigen spektralen Deskriptor. Die Abbildung ist eine schnelle, pixelweise Matrixmultiplikation und kann multispektrale Fernerkundungsbilder für beleuchtungsunabhängige Segmentierung und Klassifizierung vorverarbeiten. Einzig notwendiger Input ist das Verhältnis aus diffuser zu globaler Beleuchtung, welches aus der Atmosphärenphysik bekannt ist.

1 Einleitung

In der multispektralen Fernerkundung tritt das Farbkonstanzproblem unter anderen Randbedingungen auf als in 'Computer Vision' (siehe z.B. Ho et al. [1990], Maloney & Wandell [1986]) oder Kognitionswissenschaft. Zum einen liegen hier mehr als drei, i.a. nicht überlappende Spektralbänder vor, und die Lichtquellen (Sonnen- und Himmelslicht) zum Zeitpunkt der Aufnahme sind gut bekannt. Zum anderen ist die Annahme einer global gleichmäßigen oder aber nur langsam räumlich veränderlichen Beleuchtung horizontaler Flächen (Mondrian-Welt) in der Fernerkundung nicht gegeben. Vielmehr treten die abgebildeten Flächen unter verschiedenen schnell veränderlichen Oberflächenorientierungen auf (Dächer, Landschaftsterrain, etc.). Daher handelt es sich bei der hier vorgeschlagenen Filterung auch nicht um eine räumliche (wie z.B. bei Oppenheim & Schafer [1975]), sondern um eine pixelweise spektrale Filterung.

Sowohl zur spektralen Klassifikation innerhalb eines Bildes, als auch zur Änderungsdetektion zwischen mehreren Bildern ist es daher wünschenswert, zwischen Änderungen unterscheiden zu können, die in einer tatsächlichen Änderung der Reflektanzeigenschaften oder aber in einer Änderung der Oberflächenorientierung begründet sind.

2 Messung der Beleuchtungsvariabilität

Mit dem hochauflösenden Spektrometer OVID (Beschreibung in Bartsch et al. [1994]) wurden Spektren $\mathbf{x} = (x_1 \dots x_N)^T$ mit $N = 1000$ Spektralbändern im Bereich von $\lambda = 550 - 950$ nm von ausgewählten Oberflächenmaterialien unter beliebigen Winkeln gemessen (siehe Abb. 1). Eine Hauptkomponentenanalyse der logarithmierten Spektren $\ln \mathbf{x} = (\ln x_1 \dots \ln x_N)^T$ zeigt, daß die Varianz der Strahldichtespektren gut durch nur zwei Eigenvektoren \mathbf{u} und \mathbf{v} beschrieben werden kann, die *im logarithmischen Spektralraum unabhängig vom reflektierenden Oberflächenmaterial sind*.

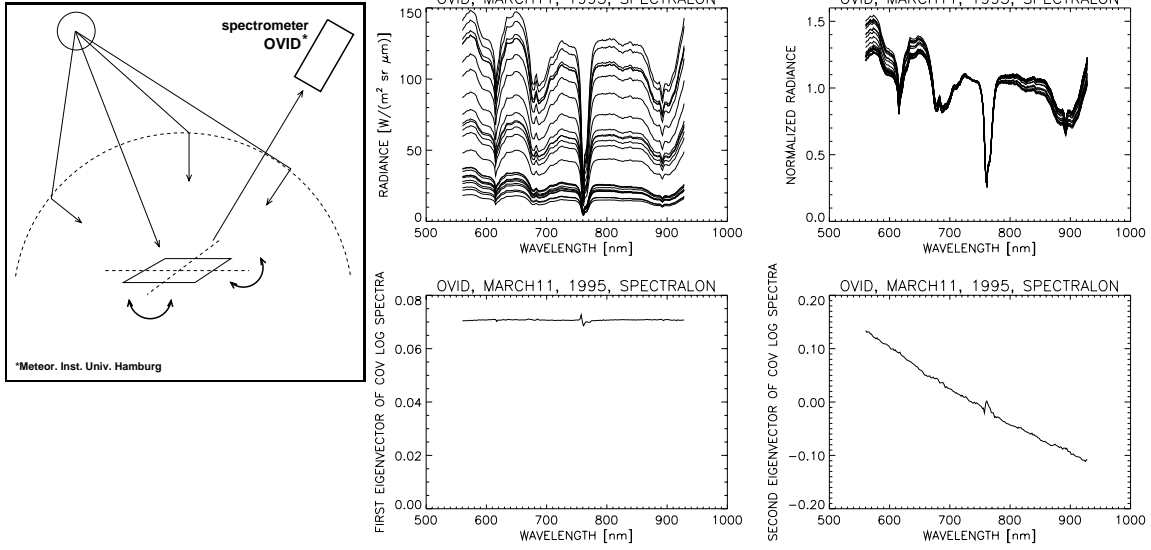


Abbildung 1: Versuchsaufbau unter freiem Himmel (links), die unter verschiedenen Oberflächenorientierungen gemessenen Spektren (Mitte oben), die normierten Spektren $\|\mathbf{x}\| = 1$ (rechts oben), und die zwei signifikantesten Eigenvektoren \mathbf{u} und \mathbf{v} der Kovarianzmatrix der logarithmischen Spektren (unten).

Im logarithmischen Spektralraum kann der Vektor \mathbf{u} hier als Helligkeitsverschiebung, und der Vektor \mathbf{v} als Farbverschiebung verstanden werden. In [Wiemker 1995] haben wir gezeigt, daß die zwei Freiheitsgrade der Beleuchtungsvariation durch veränderliche Beiträge von direktem Sonnenlicht einerseits und diffusem Himmelslicht andererseits herrühren. Der Quotient aus diffusem zu globalem Licht ist bekannt [Chavez 1989, Wiemker & Hepp 1994] als $m_i = c\lambda_i^{-\alpha}$ mit $i = 1..N$ und den Atmosphärenparametern c und α . Dann können die Eigenvektoren mit Betrag $\|\mathbf{u}\| = \|\mathbf{v}\| = 1$ erklärt werden als orthonormalisierte Einheits- und Quotientenvektoren $\mathbf{1}$ und \mathbf{m} :

$$\mathbf{u} = \mathbf{1}/\|\mathbf{1}\| \quad (1)$$

$$\mathbf{v} = (\mathbf{m} - \mathbf{u}\mathbf{u}^T\mathbf{m})/\|\mathbf{m} - \mathbf{u}\mathbf{u}^T\mathbf{m}\| \quad (2)$$

3 Spektrale Filterung

Die gefundenen Variabilitätskomponenten \mathbf{u} und \mathbf{v} sollen nun aus den Spektren herausgefiltert werden, um einen invarianten spektralen Deskriptor zu erzeugen. Hierzu bilden wir die $N \times 2$ Matrix $\mathbf{Q} = [\mathbf{u}\mathbf{v}]$. Durch Multiplikation mit dem orthogonalen Projektor $\mathbf{P} = \mathbf{I} - \mathbf{Q}\mathbf{Q}^T$ kann die Variabilität aus dem gemessenen Spektrum $\ln \mathbf{x}$ herausgezogen werden.

$$\ln \mathbf{x} \mapsto \ln \mathbf{x} - \mathbf{Q}\mathbf{Q}^T \ln \mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{Q}\mathbf{Q}^T) \ln \mathbf{x} = \mathbf{P} \ln \mathbf{x} \quad (3)$$

Hierbei ist $\mathbf{P} = \mathbf{P}^T$ eine symmetrische $N \times N$ Matrix und hat die definierende Projektoreigenschaft $\mathbf{P}\mathbf{P} = \mathbf{P}$; es handelt sich somit um eine orthogonale Projektion $\mathbb{R}^N \mapsto \mathbb{R}^{N-K}$. Durch Exponentiation gelangen wir zurück in den ursprünglichen Spektralraum:

$$\mathbf{x} \mapsto \exp(\mathbf{P} \ln \mathbf{x}) \quad (4)$$

4 Ergebnisbeispiele auf multispektralen Bilddaten

Verwendet wurden Bilddaten des von der DLR betriebenen Multispektralscanners DAEDALUS AADS 1268 mit $N = 9$ Spektralkanälen im Bereich $\lambda = 0.45 - 2.35 \mu\text{m}$. Die Flughöhe betrug 300 m, die Nadiraufösung 0.7 m. Die Atmosphärenkorrektur wurde mit SENSAT5 durchgeführt [Richter 1992, Kollewe 1995].

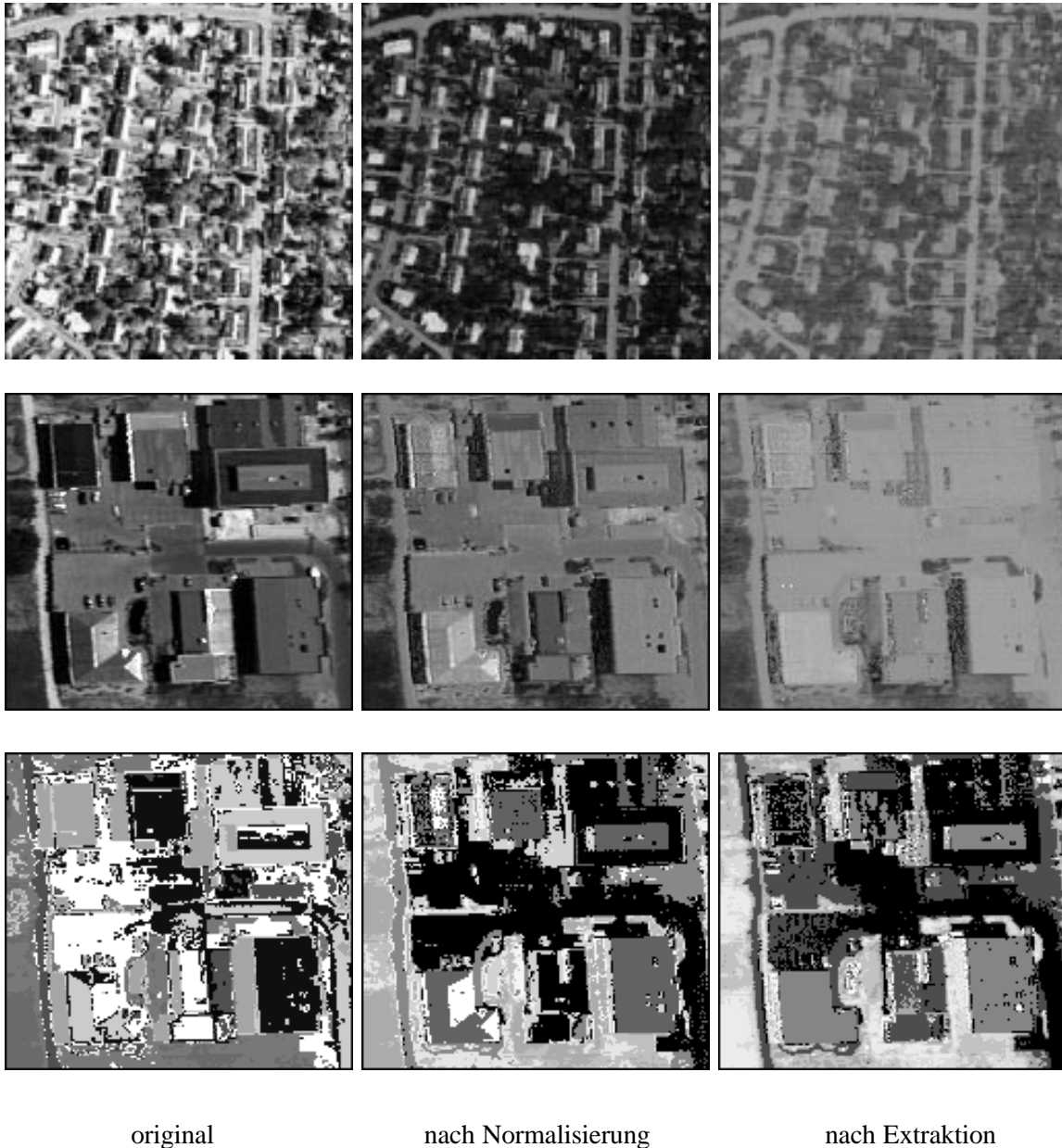


Abbildung 2: In den oberen zwei Reihen wird zur Visualisierung das langwelligste Spektralband ($\lambda = 2.2 \mu\text{m}$) gezeigt: Original (links), nach Normalisierung der Spektren (Mitte), und nach Extraktion von Helligkeits- und Farbverschiebung (rechts). In der unteren Reihe sind entsprechend die Ergebnisse von unbeaufsichtigten Multispektralklassifikationen abgebildet. Man beachte die Orientungs(un)abhängigkeit des Hausdachs unten links (kleine Szene).

Abb. 2 zeigt am Beispiel von Hausdächern und Schattenflächen, daß eine bloße Normalisierung der spektralen Vektoren zu $\|x\| = 1$ nicht ausreicht, um Orientierungs- bzw. Beleuchtungsinvarianz zu erzeugen. Dazu benötigt man vielmehr auch das Ausfiltern der Farbverschiebung. Die Beleuchtungsinvariante verringert die Orientierungsabhängigkeit der Spektralklassifikation deutlich. Festzustellen ist allerdings auch, daß sich viele Reflektanzen künstlicher Oberflächen nur gerade um die Komponenten der Beleuchtungsvariabilität unterscheiden.

5 Diskussion und Ausblick

Die unter freiem Himmel durch wechselnde Oberflächenorientierung erzeugte spektrale Variabilität kann auf eine Helligkeits- und eine Farbverschiebung zurückgeführt werden, die experimentell bestätigt und theoretisch verstanden wurden. Wir haben eine schnelle algebraische Methode zur Ausfilterung dieser Variabilität gezeigt. Dadurch wird eine orientierungsunabhängiger spektraler Deskriptor erzeugt.

Da durch die spektrale Filterung allerdings auch Reflektanzinformation verloren geht, erscheint es sinnvoll, für optimale Spektralklassifikation den Merkmalsraum von der Invarianten zusammen mit der gefilterten Helligkeits- und Farbkomponente aufzuspannen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde durch die Volkswagen-Stiftung unterstützt.

Danken möchte ich Johann Bienlein, Leonie Dreschler-Fischer, Christian Drewniok, Martin Kollwe, Christoph Schnörr und Hartwig Spitzer für inspirierende Diskussionen, und Barbara Bartsch und Margareta Betancor für ihre Hilfe bei den Messungen mit dem OVID Spektrometer.

Literatur

- [Bartsch et al. 1994] Bartsch, B., S. Bakan, and J. Fischer (1994). Remote Sensing of Water Vapour within the Solar Spectrum. In *Atmospheric Sensing and Modelling*, volume 2311, pages 197–206. SPIE, 1994.
- [Chavez 1989] Chavez, P. S. (1989). Radiometric Calibration of Landsat Thematic Mapper Multispectral Images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **55**, 1285–1294, 1989.
- [Ho et al. 1990] Ho, J., B. V. Funt, and M. S. Drew (1990). Separating a Color Signal into Illumination and Surface Reflectance Components: Theory and Applications. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **12** (10), 966–977, October 1990.
- [Kollewe 1995] Kollewe, T. (1995). Vergleich multispektraler Flugzeugscanneraufnahmen mit Reflektanzmessungen am Boden, Diploma thesis, Universität Hamburg, II. Inst. f. Experimentalphysik, 1995.
- [Maloney & Wandell 1986] Maloney, L. T. and B. A. Wandell (1986). Color Constancy: A method for recovering surface spectral reflectance. *J. Opt. Soc. Amer. A* **3**, 29–33, 1986.
- [Oppenheim & Schaffer 1975] Oppenheim, A. V. and R. W. Schaffer (1975). *Digital Signal Processing*. Prentice-Hall, London, 1975.
- [Richter 1992] Richter, R. (1992). *Radiometrische Auslegung von Sensoren und quantitative Auswertung von Fernerkundungsdaten im optischen Spektralbereich*. PhD thesis, German Aerospace Research Establishment (DLR), Oberpfaffenhofen, 1992.
- [Wiemker & Hepp 1994] Wiemker, R. and T. Hepp (1994). Surface Orientation Invariant Matching of Spectral Signatures. In Ebner, H., C. Heipke, and K. Eder, editors, *ISPRS Commission III Symposium on Spatial Information from Digital Photogrammetry and Computer Vision*, volume 2357, pages 916–923. SPIE / ISPRS, 1994.
- [Wiemker 1995] Wiemker, R. (1995). The Color Constancy Problem: A Fast Illumination Invariant Mapping Approach. In Hlavac, V. and R. Sara, editors, *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns, Prague 1995, CAIP'95*, pages 950–955. Springer, 1995.