

Der Farbaspekt in der Texturanalyse und die Erweiterung eines Texturseparationsverfahrens auf mehrkanalige Bilddaten

Carsten Lucht, Heiko Kempe
Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e. V. Ilmenau
Ehrenbergstraße 11
D-98693 Ilmenau, Germany
Tel: +49/3677/668-485
Fax: +49/3677/668-464
email: Carsten.Lucht@rz.tu-ilmenau.de

Kurzfassung: Der Beitrag behandelt den Einfluß der Farbe auf die Texturbildung und zeigt am Beispiel eines Texturseparationsverfahrens, welchen Qualitätsgewinn man durch Nutzung der Farbinformation erzielen kann. Bei der Verbindung von Farb- und Texturanalyse werden vier unterschiedliche Lösungsansätze vorgestellt und diskutiert. Schwerpunkte bilden dabei die Realisierung einer optimalen Farbraumprojektion sowie die mehrkanalige Erweiterung des Separationsalgorithmus.

1 Einleitung

Die schnelle Entwicklung der Bildverarbeitung in den letzten Jahren läßt sich besonders eindrucksvoll anhand der Texturanalyse und der Farbbildverarbeitung nachweisen. In beiden Bereichen kann man heute auf leistungsstarke Algorithmen und Methoden zurückgreifen. Trotz dieser Fortschritte muß festgestellt werden, daß es nur wenige Ansätze gibt, welche Verfahren beider Gebiete kombinieren. Angesichts aktueller Problemstellungen zu Farbtexturen werden Überlegungen hierzu dringend erforderlich. Im vorliegenden Beitrag sollen deshalb verschiedene Verknüpfungsansätze vorgestellt und diskutiert werden.

2 Der Farbaspekt in der Texturbildung

Obwohl zahlreiche Definitionsversuche zum Begriff "Textur" existieren, konnte sich bis heute keine Beschreibung als allgemeingültige Definition behaupten. Die große Vielfalt der unterschiedlichen Texturerscheinungen scheint dies unmöglich zu machen. Für die Systematisierung hat sich die Einteilung in verschiedene, teilweise stark umstrittene Texturmodelle (z.B. strukturelles Texturmodell, statistisches Texturmodell) durchgesetzt (/Zam89/).

Spätestens nach psychophysikalischen Untersuchungen des menschlichen visuellen Systems muß auch die oft getroffene Aussage, Texturen seien reine Grauwertfunktionen, neu überdacht werden. So konnte bei Untersuchungen der Retina festgestellt werden, daß die rezeptiven Felder der Helligkeits- und der farbsensitiven Einheiten nach dem gleichen Prinzip (double opponency) aufgebaut und miteinander verschaltet sind (z.B. /Gor93/). Frühe texturerkennende Prozesse in der Retina und in nachfolgenden Schichten sind somit für Farb- als auch Helligkeitssignal möglich. Die Farbinformation kann damit entscheidend zur Entwicklung des Textureindruckes beitragen.

Zur Systematisierung von Farbtexturen kann man analog zum grauwertigen Fall auf bewährte Texturmodelle zurückgreifen. Soll lediglich der Farbanteil bei der Texturbildung betrachtet werden, so lassen sich alle Farbtexturen, eine konstante Bildauflösung vorausgesetzt,

zwischen zwei Extremfällen einordnen. Im ersten Extremfall trägt die Farbinformation bloß zur Grundtönung des Bildes bei (Abb. 2.d). Das heißt, daß die Textur ausschließlich durch die lokalen Helligkeitsschwankungen geformt wird. Viele natürliche Texturen wie z. B. Kornfeld, Sand, Korkrinde weisen ein stark begrenztes Farbspektrum auf und kommen dem ersten Extremfall sehr nahe. Der zweite Extremfall wird durch Texturen gebildet, deren Farbinformation allein für die Texturierung verantwortlich ist (Abb. 2.c). Texturen dieser Art sind relativ selten und meistens synthetisch erzeugt. Die Mehrzahl der Texturen liegt auf einer Skala zwischen den beiden Extremfällen. Dazu gehören sowohl künstliche Gebilde wie etwa farbgemusterte Gewebe oder strukturierte Waferoberflächen als auch eine ganze Reihe natürlicher Texturen (z.B. Luftaufnahme einer Sommerwiese, verschiedene Gesteins- und Mineraloberflächen).

Aus der Einordnung der Farbtexturen in Bereiche zwischen den genannten Extremfällen können Rückschlüsse für die richtige Wahl der Bildverarbeitungsverfahren getroffen werden. Prinzipiell kann man in vier verschiedene, mehr oder weniger voneinander abgrenzbare Ansätze unterteilen :

- (1) Separate Farbuntersuchung und grauwertige Texturanalyse,
- (2) Farbraumprojektion zur Verringerung der Dimension mit anschließender Texturanalyse auf skalarem Bildmaterial,
- (3) grauwertige Texturanalyse pro Farbkanal und Verknüpfung der Teilergebnisse,
- (4) gemeinsamer Algorithmus für Farbtexturen ohne vorherige Trennung in Farb- und Grauwertkomponenten

Entsprechen die zu untersuchenden Texturen annähernd dem ersten Extremfall oder lassen sich Farb- und Texturinformation ohne wesentlichen Informationsverlust trennen, so wird man den ersten Ansatz bevorzugt einsetzen. Neben der separaten Untersuchung beschränkt sich das Analyseproblem auf eine sinnvolle Verknüpfung der beiden Teilergebnisse, wobei in einigen Anwendungsfällen auch auf eine der beiden Untersuchungen verzichtet werden kann. Anstatt der parallelen Bearbeitung ist oft eine Kaskadierung von Farb- und Texturanalyse zweckmäßig (z.B. Farbuntersuchungen zur Vormaskierung von texturierten Bildbereichen). Für alle anderen Texturen sind die Ansätze zwei bis vier zu empfehlen. Texturen, welche dem zweiten Extremfall entsprechen, können auf eine Buntonfläche abgebildet werden. Die Texturanalyse vereinfacht sich dann zu einem zweikanaligen Problem.

Betrachtet man die drei letzten Ansätze, so ergeben sich neben der bereits erwähnten Ergebnisverknüpfung (Ansatz 3) zwei weitere Problemschwerpunkte, und zwar die Realisierung einer optimalen Farbraumprojektion (Ansatz 2) und die mehrkanalige Erweiterung der Texturanalysealgorithmen (Ansatz 4). Beide letztgenannten Problematiken sollen nun anhand eines von *Poschmann* vorgeschlagenen Texturseparationsverfahrens näher untersucht werden (/Pos92/).

3 Erweiterung eines Separationsansatzes der Texturanalyse

3.1 Texturseparationsansatz

Die Untersuchung von Texturanalyseverfahren zeigt, daß die meisten Algorithmen durch zweistufige Texturoperatoren (Mikrooperator und Makrooperator) abstrahiert werden können. Beide Operatoren greifen auf Pixel von lokalen Bildfenstern zu. Der Mikrooperator dient dabei zur Vereinfachung der meist komplexen Texturstatistik, welche nachfolgend durch den Makrooperator erfaßt und ausgewertet wird. Der hier besprochene Texturseparations-

algorithmus (Zweiklassenfall) stellt eine der möglichen Implementierungen dar (Abb. 1.a). Als Mikrooperator wird ein linearer Faltungsoperator eingesetzt, deren Koeffizienten durch Extremalisierung des Rayleigh-Quotienten $R(\underline{a})$ gebildet werden:

$$R(\underline{a}) = \frac{\sigma_{Y_1}^2}{\sigma_{Y_2}^2} = \frac{\underline{a}^T \mathbf{K}_{X_1} \underline{a}}{\underline{a}^T \mathbf{K}_{X_2} \underline{a}} \quad (1)$$

$\sigma_{Y_1}^2, \sigma_{Y_2}^2$ - Varianzen der Filterergebnisse, $\mathbf{K}_{X_1}, \mathbf{K}_{X_2}$ - Texturkovarianzmatrizen, \underline{a} - Filtervektor

Durch Lösung der allgemeinen Eigenwertaufgabe erhält man den Filtervektor, welcher die Varianzdifferenz der zu trennenden Texturen maximiert. Der Makrooperator wird durch zwei Look-Up-Tabellen und einen Boxoperator gebildet und dient der Markierung von Gebieten mit unterschiedlicher Varianz (Labelbild).

Die Erweiterung des Texturoperators nach den genannten Ansätzen zeigt Abbildung 1.b-d.

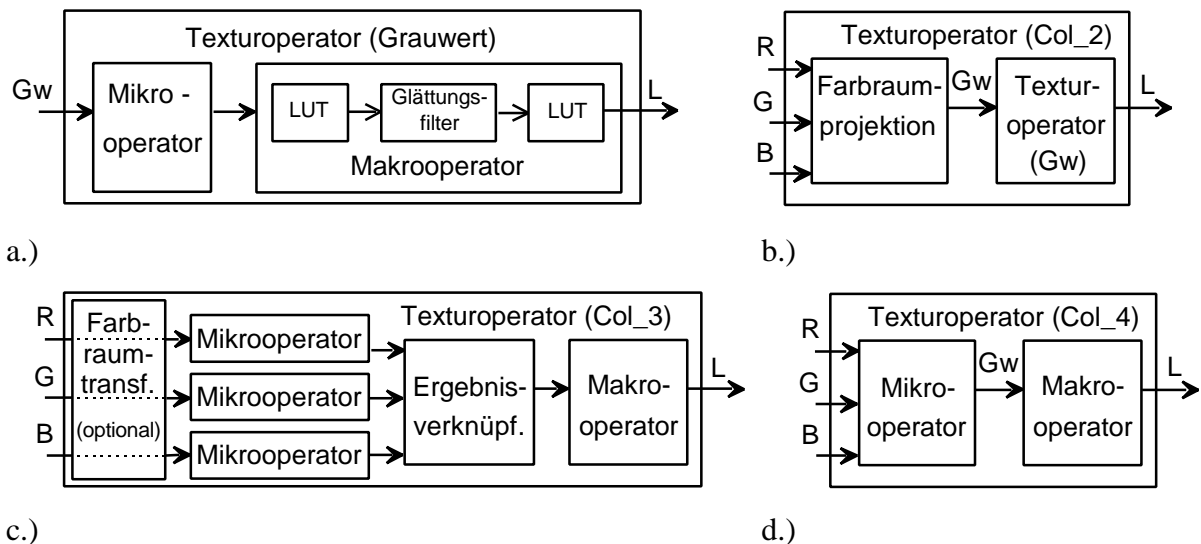


Abb. 1. Zweistufiger Texturoperator und deren Farberweiterungen, a.) skalarer Texturoperator, b.) 2. Erweiterungsansatz, c.) 3. Erweiterungsansatz mit zwischengeschalteter Ergebnisverknüpfung, d.) 4. Erweiterungsansatz

3.2 Optimale Farbraumprojektion

Die Untersuchung der in der Farbbildverarbeitung gebräuchlichen, linearen (z.B. Intensität, Crominanz) und nichtlinearen Projektionen (z.B. Sättigung, Farbart) zeigt, daß trotz des Gewinns von konkreter farbbeschreibender Information keine allgemeingültige Abbildung von Farbtexturen gefunden werden kann. Für unterschiedliche Texturvorgaben kann nur eine adaptive Projektion zu befriedigenden Ergebnissen führen. Als Optimierungskriterium dient dabei ein Gütemaß, welches durch das nachgeschaltete Texturanalyseverfahren bestimmt ist. Im hier betrachteten Fall wird

$$G = \max(\lambda + 1/\lambda) \quad (2)$$

als Gütemaß verwendet, wobei λ den Eigenwert aus der Berechnung der Filterkoeffizienten darstellt.

Bei Anwendung der linearen Projektion kann man feststellen, daß der optimale Projektionsvektor je nach Texturbeispiel stark variiert. Die Gründe für diese Variation sind im

Bandpaßcharakter des berechneten Filters zu suchen. Bei der Filterung werden genau die Frequenzanteile verstärkt, welche nicht gleichzeitig oder gleichintensiv in den zu trennenden Texturen auftreten. Andere Frequenzen werden unterdrückt. Die Farbraumprojektion kann dieses Funktionsprinzip zusätzlich unterstützen. Dies wird besonders deutlich, wenn man die lineare Farbraumprojektion als Linearkombination der RGB-Fourierspektren betrachtet. Durch geschickte Wahl der Faktoren lassen sich Amplituden- und Phasendifferenzen für die Verstärkung von Spektralunterschieden ausnutzen. Bei einer ganzen Reihe von Texturkombinationen können sogar zusätzliche Frequenzabweichungen erzeugt werden. Der optimale Projektionsvektor entspricht der effizientesten Linearkombination und variiert mit dem Frequenzverhalten der jeweiligen Texturpaarung. Durch ausschließliche Untersuchung der RGB-Farbraumstatistik (z.B. KLT) kann somit keine optimale Farbraumprojektion verwirklicht werden.

Für die praktische Realisierung der optimalen linearen Farbraumprojektion empfehlen sich schnelle maschinelle Suchverfahren (z. B. Evolutionsansatz) in Verbindung mit effizienten Lösungsalgorithmen für die Eigenwertaufgabe (z. B. v. Misessches Iterationsverfahren).

3.3 Mehrkanalige Erweiterung des Mikrooperators

Im Gegensatz zum grauwertigen Mikrooperator werden bei dem vierten Erweiterungsansatz die RGB-Farbkomponenten der Bildfensterpixel zur Bildung der Kovarianzmatrix \mathbf{K} herangezogen. Man erhält damit neunmal größere Kovarianzmatrizen und einen dreimal größeren Filtervektor \underline{a} . Alle Farbkomponenten werden als gleichwertig betrachtet, unabhängig davon, ob sie in Pixelrelation zueinander stehen oder innerhalb bzw. außerhalb einer Farbebene liegen. Bei der Lösung der allgemeinen Eigenwertaufgabe wird die Farbinformation und die räumliche Statistik gleichzeitig berücksichtigt. Statt einer einheitlichen Farbraumprojektion wie bei dem zweiten Erweiterungsansatz existiert nun für jede Ortslage im Mikrooperatorfenster eine eigene, ungleiche, lineare Farbraumabbildung.

4 Ergebnisse und Ausblick

Von den vier möglichen Farberweiterungen eignen sich für das vorgestellte Texturentrennungsverfahren besonders der zweite und der vierte Ansatz. Anhand einer realen, regelmäßig strukturierten Farbtextur soll deren Leistungsfähigkeit eingeschätzt werden. Abbildung 3 zeigt neben den jeweiligen Filtervorlagen die Zwischenergebnisbilder nach Mikro- und Makrooperator sowie die erreichten Güten. Gegenüber der grauwertigen Texturentrennung kann mit beiden Verfahren ein qualitativer Gewinn erzielt werden. Erwartungsgemäß erreicht man mit dem vierten Ansatz die höchste Güte. Diesem Vorteil stehen ein größerer Ressourcenbedarf (große Kovarianzmatrizen) und aufgrund des erweiterten Mikrooperators eine geringere Arbeitsgeschwindigkeit gegenüber. Das Zeitverhältnis für die Berechnung der Filterkoeffizienten hängt von zahlreichen Parametern ab und kann deshalb nicht eindeutig benannt werden. Für größere Mikrooperatorfenster verschiebt sich dieses Verhältnis zu Ungunsten des vierten Ansatzes. Da die Güte des zweiten Erweiterungsansatzes in den meisten Anwendungsfällen nur unbedeutend schlechter ist, wird man aufgrund des besseren Zeit- und Ressourcenverhaltens überwiegend diesen Ansatz bevorzugen.

Eine weitere Gütesteigerung bei der Farbtexturtrennung verspricht die Anwendung von nichtlinearen Farbraumprojektionen. Aufgrund der erhöhten Projektionsfreiheitsgrade ist der Einsatz maschineller Suchverfahren sehr aufwendig. Neue und optimierte Verfahren sollen Gegenstand zukünftiger Forschung sein.

5 Farbabbildungen

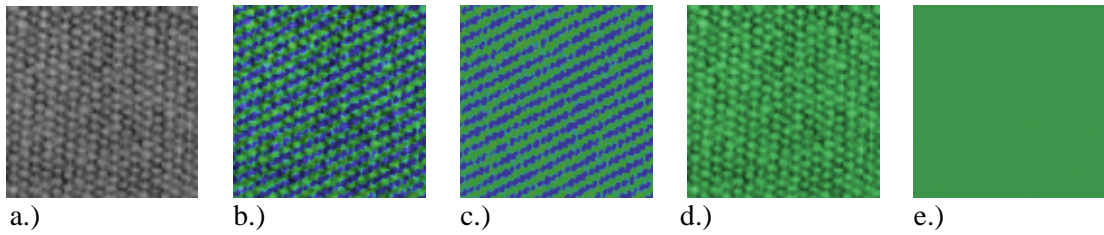


Abb. 2. Farbaspekt in der Texturbildung, a.) Grauwerttextur, b.) Farbinformation als texturformende Bildeigenschaft, c.) Buntheit von b.), d.) Farbinformation als Grundtönung eines texturierten Bildes, e.) Buntheit von d.)

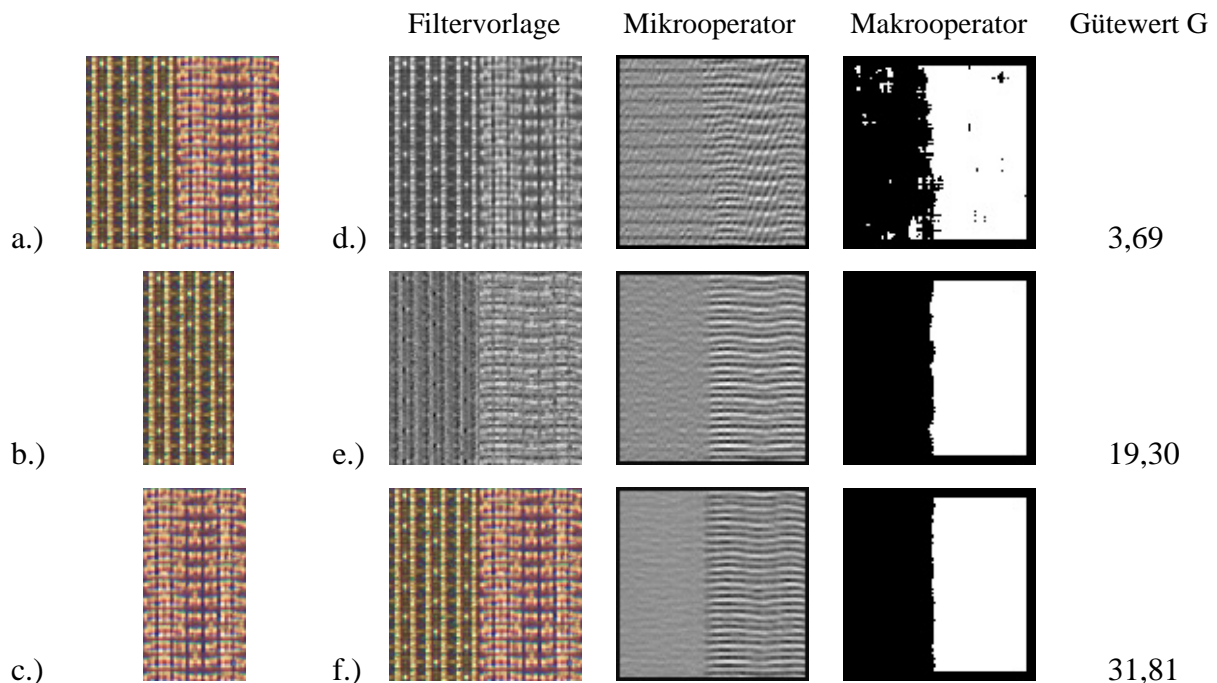


Abb. 3. Texturseparationsverfahren auf Farbtexturbeispiel (Waferoberflächenstruktur), a.) Farbtextur, b.) + c.) zu trennende Texturklassen, d.) Verwendung des skalaren Texturoperators (Helligkeitsbild), e.) Nutzung der optimalen linearen Projektion, f.) Anwendung des farberweiterten Mikrooperators; (Mikrooperatorgröße: 5×5 Pixel, Makrooperatorgröße: 7×7 Pixel)

Referenzen:

- /Gor93/: Gorea, A.; Papathomas, T. V.: " Double opponency as a generalized concept in texture segregation illustrated with stimuli defined by color , luminance, and orientation ", Journal of the Optical Society of America A: Optics and Image Science, Vol 10, Nr. 7, Jul 1993, S. 1450-1461
- /Pos92/: Poschmann, R.: " Untersuchung eines Basisalgorithmus der statistischen Texturanalyse ", Dissertation, Technische Universität Ilmenau, 1992
- /Zam89/: Zamperoni, P.: " Methoden der digitalen Bildsignalverarbeitung ", Vieweg Verlag Braunschweig, 1989