

Glanzlichtsubstitution durch Lichtfelder

Unsichtbares wird sichtbar

F. Vogt^{0,1}, D. Paulus¹, I. Scholz^{0,1}, H. Niemann¹, C. Schick²

¹Lehrstuhl für Mustererkennung

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 91054 Erlangen

Email: {vogt,paulus,scholz,niemann}@informatik.uni-erlangen.de

²Chirurgische Universitätsklinik, Krankenhausstr. 12, 91054 Erlangen

Email: schick@chirurgie-erlangen.de

Zusammenfassung. In diesem Artikel wird eine neue Technik zur Glanzlichtsubstitution vorgestellt. Ausgehend von einer Farbbildsequenz, die mit einer handgeführten Kamera aufgezeichnet wird, wird zunächst ein so genanntes *Lichtfeld* erzeugt. Außerdem wird für jedes Bild der Sequenz eine Glanzlichtmaske berechnet. Diese wird anschließend als *Vertrauenskarte* im Lichtfeld benutzt. Dadurch werden Farbpixel an den markierten Glanzlichtstellen durch Pixel aus anderen Bildern ersetzt, bei denen diese Pixel nicht durch Glanzlichter überbelichtet waren. Diese Methode erhöht die Bildqualität. Eine Anwendung des Verfahrens auf endoskopische Bilder und Evaluation auf realen und auf synthetischen Daten beschließt den Beitrag.

1 Einleitung

Bei der Aufnahme von Farbbildsequenzen natürlicher Szenen können Glanzlichter, die aufgrund von Reflexionen entstehen, beim Betrachten der Szene enorm störend sein. Teilweise verhindern sie die Sicht auf die Struktur hinter dem Glanzlicht vollständig. Glanzlichter treten vor allem bei der Aufnahme medizinischer Farbbildsequenzen von Körpergewebe auf. Bei endoskopischen Bildern wird das Problem noch dadurch verschärft, dass sich die Lichtquelle direkt neben der Kameralinse befindet. Dadurch werden Gewebeoberflächen, die orthogonal zur Blickrichtung ausgerichtet sind, meistens derart überbelichtet, daß die Ärzte keine Möglichkeit mehr haben, das darunter liegende Gewebe zu erkennen (weder die Farbe noch die Struktur).

In diesem Artikel wird dargestellt, wie Glanzlichter - aber theoretisch auch beliebige andere detektierbare Bildstörungen - aus Farbbildsequenzen entfernt werden können, indem aus der Sequenz zunächst ein sogenanntes Lichtfeld erzeugt wird, mit dessen Hilfe die Qualität der Bilder an denjenigen Stellen im Bild, an denen die Störungen auftreten, verbessert werden kann. Voraussetzung für die Entfernung einer Bildstörung ist deren robuste Detektion.

2 Glanzlichtdetektion

Für dielektrische inhomogene Materialien kann das dichromatische Reflexionsmodell [1] dazu benutzt werden, spiegelnde Reflexion von diffuser zu unterscheiden. Algorithmen, die auf diesem Modell basieren, wurden z. B. angewandt, um Glanzlichter

⁰ Diese Arbeit wurde gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen der Teilprojekte B6 und C2 im SFB 603.

bei der Stereobildverarbeitung zu entfernen [2]. In [3] werden Farbgradienten benutzt um Glanzlichter zu detektieren.

Die Eigenschaften menschlichen Gewebes entsprechen nicht dem dichromatische Reflexionsmodell. Dennoch haben Experimente gezeigt, dass in einigen Fällen akzeptable Ergebnisse erzielt werden können, siehe z. B. [4]. Die Verwendung von Verfahren basierend auf dem dichromatischen Reflexionsmodell führte jedoch zu einer schlechten Glanzlichtdetektion in endoskopischen Bildern aus dem Bauchraum. Dies könnte daran liegen, dass das Licht im Bauchinnern, durch Reflexionen an rotem Gewebe, rötlich ist.

Unter der Annahme, dass die Bilder nicht überbelichtet sind, werden Glanzlichter im *HSV* Farbraum einfach durch Schwellwerte für die Sättigung S und die Helligkeit V detektiert. Die resultierende Glanzlichtmaske wird dilatiert (3×3 Fenster) um eine geschlossene Glanzlichtregion zu erhalten. Dadurch würden auch weiße Regionen detektiert werden, aber da solche Oberflächen im Bauchinneren nicht vorkommen, tritt das Problem bei endoskopischen Bildern aus dem Bauchraum nicht auf.

3 Lichtfelderzeugung und -visualisierung

Lichtfelder wurden im Bereich des Rechnersehens und in der Graphik in der jüngeren Vergangenheit eingeführt [5,6], und beschreiben eine diskrete Version der plenoptischen Funktion, mit der es möglich ist, neue Ansichten einer Szene zu generieren. Das Lichtfeld reduziert den hochdimensionalen Raum der plenoptischen Funktion auf vier Dimensionen, indem nur konstante Radianz (drei Farbwerte) entlang von Lichtstrahlen gemessen wird. Ein Lichtstrahl ist definiert durch seine Schnittpunkte (s, t) und (u, v) mit zwei parallelen Ebenen.

Ein große Herausforderung stellt die Konstruktion eines Lichtfeldes aus einer realen Szene dar. Zunächst wird eine Sequenz mit einer nicht kalibrierten Kamera, die sich auf einem beliebigen Pfad bewegt, aufgenommen. Danach wird die Sequenz kalibriert. Unter Kalibrierung versteht man die Bestimmung der intrinsischen (z. B. Brennweite) und extrinsischen (Position und Orientierung) Kameraparameter aus der Sequenz. Um auch Sequenzen mit niedrigem Signal-zu-Rausch Verhältnis kalibrieren zu können wird ein robuster Ansatz benötigt, der mit Ausreißern und Ungenauigkeiten zurecht kommt. Zur Punktverfolgung wurde ein differenzieller Ansatz [7], zur Kalibrierung und Faktorisierung die Verfahren aus [8] bzw. [9] verwendet.

Leider befinden sich die Kamerapositionen normalerweise nicht in einer Ebene. Daher muss ein zusätzlicher Konvertierungsschritt (Warping) durchgeführt werden.

4 Glanzlichtsubstitution

Da ein Blockvergleich an den Bildrändern nicht möglich ist, können dort keine Punkte verfolgt werden und somit ist in diese Bereich keine 3D Rekonstruktion möglich. Um eine Unterscheidung zwischen den Pixeln, an denen prinzipiell keine Rekonstruktion möglich ist und denjenigen Pixeln, bei denen sich keine zuverlässige Verfolgung ergab zu ermöglichen, wurde eine so genannte Vertrauenskarte eingeführt. Diese Vertrauenskarte hat die gleiche Größe wie das Eingabebild und wird für jedes Bild berechnet. Die Vertrauenskarte wird auf 0 gesetzt, falls keine 3D Information

verfügbar ist; sie wird auf > 0 (gegenwärtig konstant 1) gesetzt, falls 3D Information vorliegt.

Beim Rendern hat ein niedriger Wert der Vertrauenskarte den folgenden Effekt: beim Warping werden Pixel mit geringen Werten ins Unendliche projiziert und damit zur Interpolation nicht verwendet. Die Vertrauenskarte wird nun zu einem weiteren Zweck verwendet: Glanzlicht-Regionen werden ausmaskiert, indem die entsprechenden Bereiche in der Vertrauenskarte auf 0 gesetzt werden.

Wenn ein Wert in der Vertrauenskarte 0 ist, kann der Intensitätswert an dieser Stelle durch Interpolation von benachbarten Punkten im Lichtfeld ermittelt werden. Das Ergebnis ist ein Lichtfeld, in dem Glanzlichter durch die korrekte Bildinformationen ersetzt werden, die u. U. interpoliert sind.

5 Experimente

Als erster Test und Nachweis, dass das Verfahren funktioniert, wurden kreisförmige Regionen (20 Pixel Durchmesser) in jedem Bild (Größe 256×256) einer Sequenz, an der gleichen Stelle im Bild, blau gefärbt und die Vertrauenskarte an diesen Stellen des Bildes auf 0 (d. h. den Pixel nicht beachten) gesetzt. Die Regionen konnten fast vollständig (ca. 95%) durch 'reale' Farbwerte ersetzt werden.

Danach wurden zweimal 320 synthetische Bilder einer Szene mit einer Kugel und einem Zylinder, mit rot-blauem Schachbrettmuster, gerendert. Der eine Teil der Bilder wurde mit Glanzlichtern gerendert, der andere ohne. Aus diesen Daten wurden drei Lichtfelder erzeugt: ein Lichtfeld, bei dem die Bilder ohne Glanzlichter zum Rendern benutzt wurden (Grundwahrheit G), ein Lichtfeld, bei dem die Bilder mit Glanzlichter zum Rendern benutzt wurden (L) und ein Lichtfeld wie L , bei dem aber zusätzlich eine Glanzlichtmaske berechnet und als Vertrauenskarte benutzt wurde (LC).

Nun wurden 50 Bilder aus jedem Lichtfeld mit den jeweils gleichen (virtuellen) Kameraparametern an zufälligen Positionen gerendert. Daraus wurde das mittlere Signal-zu-Rausch Verhältnis zwischen den Lichtfeldern L und G und den Lichtfeldern LC und G berechnet. Das mittlere Signal-zu-Rausch Verhältnis (\pm Standardabweichung) zwischen L und G war $8.30 (\pm 0.49)$ und das mittlere Signal-zu-Rausch Verhältnis zwischen LC und G war $8.84 (\pm 0.83)$.

Medizinische Lichtfelder wurde aus zwei endoskopischen Sequenzen erstellt: eine Gallensequenz und eine Sequenz aus dem Brustraum. Abb. 1 zeigt ein ausgewähltes Bild. In einer Doppelblind-Versuchsanordnung wurden jeweils 50 Bilder der beiden Lichtfelder durch eine Ärztin evaluiert, dabei wurden *fast immer* diejenigen Bilder *mit* Glanzlichtsubstitution als qualitativ besser beurteilt: 45 von 50 Bildern beim Gallen-Lichtfeld und 50 von 50 Bilder beim Brustraum-Lichtfeld.

6 Zusammenfassung

Wir haben gezeigt, wie die Qualität von Farbbildsequenzen durch eine Kombination verschiedener Strategien aus dem Bereich Computer Vision und Computergraphik verbessert werden kann. Am Beispiel der Glanzlichterkennung auf Farbbildern wurde gezeigt, wie durch die Erzeugung eines Lichtfelds Bildstörungen (in diesem Fall



Abb. 1. Gerenderte Bilder des Gallen-Lichtfeldes: ohne Glanzlicht-Vertrauenskarte (links), mit Glanzlicht-Vertrauenskarte (mitte) und Differenzbild [links - mitte] (rechts).

Glanzlichter) in den Bildern durch *echte* Pixel substituiert werden können und damit das Gewebe 'hinter' den Glanzlichtern sichtbar wird.

Für synthetische Daten wurde gezeigt, dass das Signal-zu-Rausch Verhältnis, bei einem Glanzlichtanteil von ca. 10% des Bildes, durch das Verfahren nennenswert erhöht werden konnte.

Literatur

1. S. A. Shafer. Using color to separate reflection components. *COLOR research and application*, 10(4):210–218, 1985.
2. A. Koschan. Analyse von Glanzlichtern in Farbbildern. In D. Paulus and Th. Wagner, editors, *Dritter Workshop Farbbildverarbeitung*, pages 121–127 & 95, Stuttgart, 1997. IRB-Verlag.
3. Th. Gevers and H. M. G. Stokman. Classifying color transitions into shadow-geometry, illumination highlight or material edges. In *Proceedings of the International Conference on Image Processing (ICIP)*, pages I:521–524, Vancouver, BC, September 2000. IEEE Computer Society Press.
4. C. Palm, T. Lehmann, and K. Spitzer. Bestimmung der Lichtquellenfarbe bei der Endoskopie makrotexturierter Oberflächen des Kehlkopfs. In K.-H. Franke, editor, *5. Workshop Farbbildverarbeitung*, pages 3–10, Ilmenau, 1999. Schriftenreihe des Zentrums für Bild- und Signalverarbeitung e.V. Ilmenau.
5. S. J. Gortler, R. Grzeszczuk, R. Szelinski, and M. F. Cohen. The lumigraph. *Computer Graphics (SIGGRAPH '96 Proceedings)*, pages 43–54, August 1996.
6. Marc Levoy and Pat Hanrahan. Light field rendering. In *Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series (Proc. SIGGRAPH '96)*, pages 31–42, 1996.
7. J. Shi and C. Tomasi. Good features to track. In *Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pages 593–600, Seattle, WA, June 1994. IEEE Computer Society Press.
8. C. J. Poelman and T. Kanade. A paraperspective factorization method for shape and motion recovery. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19(3):206–218, March 1997.
9. C. Tomasi and T. Kanade. Shape and motion from image streams under orthography: A factorization method. *International Journal of Computer Vision*, 9(2):137–154, November 1992.