

3D-Vision aus dem All für die Industrie



Foto: Courtesy NASA/JPL-Caltech

Die Eleganz der Shape from Shading Methode

So haben wir es in der Schule gelernt: Für das dreidimensionale Sehen benötigt man zwei Augen. Doch es geht auch anders, wie uns die Astronomen vorführen und wie man leicht selbst ausprobieren kann, wenn man die Mondkraterlandschaft betrachtet. Man erkennt auch mit einem Auge, dass es sich um dreidimensionale Strukturen handeln muss. Es bleibt lediglich die Unsicherheit, ob sie konkav oder konvex sind. Bezieht man in die Betrachtung aber das Wissen über die Lichteinfallrichtung mit ein – im Beispiel kommt das Licht von unten links – ist das leicht zu entscheiden.

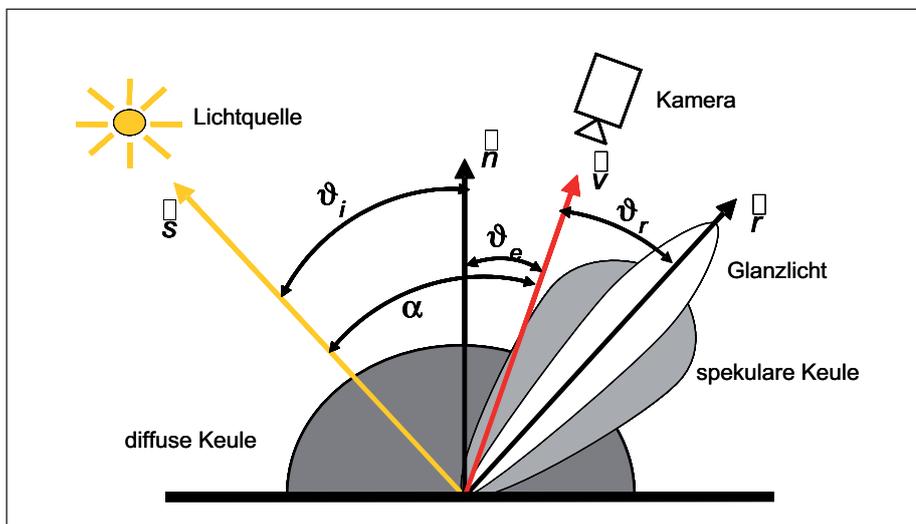


Der Zusammenhang zwischen Lichteinfallrichtung, Beobachtungsrichtung, Neigungswinkel und visueller Helligkeit eines Flächenelementes lässt sich quantitativ mit der Reflektanzfunktion einer Oberfläche beschreiben. Sie definiert, wie viel Licht bei einem bestimmten Einfallswinkel in jeden Raumwinkel reflektiert oder gestreut wird. Ist sie hinreichend genau bekannt, kann man aus der beobachteten Helligkeit direkt auf den

Oberflächenneigungswinkel zurückrechnen. Mit einer einzelnen Lichtquelle ist das zunächst nur entlang einer Linie parallel zur Lichteinfallrichtung möglich. Nimmt man eine zusätzliche Randbedingung wie die Integrabilität der Oberfläche oder einen Glattheitsterm hinzu, kann man aber auch mit einer Lichtquelle eine gute Lösung bestimmen. Die entsprechenden Grundlagen hat Horn am MIT Ende der 1980er Jahre gelegt [1].

Reflektanzfunktion

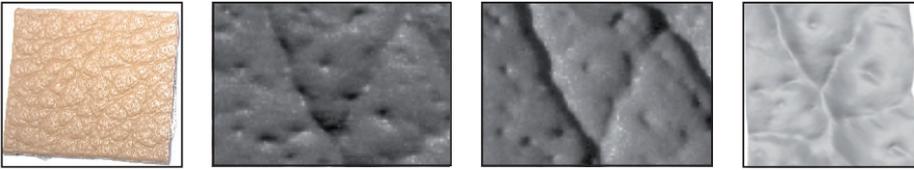
Die Reflektanzfunktion kann theoretisch sehr komplex sein, was die rechnerische Lösung der Aufgabe unmöglich machen kann. Die Praxis zeigt aber, dass viele Oberflächen mit relativ einfachen Modellen zu beschreiben sind. Das einfachste davon ist das Lambertsche Kosinusetz [2], das dieser bereits 1760 beschrieb und das für fast alle diffus reflektierenden Oberflächen, wie beispielsweise Papier, eine sehr gute Näherung darstellt. Halbmatte Oberflächen, wie sie oft bei Kunststoffteilen zu finden sind, haben eine etwas kompliziertere Charakteristik, die aber in vielen Fällen durch das aus der 3D-Grafik bekannte Phong-Modell [3] zur Berechnung der Beleuchtung von Objekten gut beschreibbar sind. Bei Metallteilen kommt schließlich noch ein spekulärer glänzender Anteil hinzu.



Prinzipieller Aufbau eines Shape-from-Shading Messsystems

Shape from Shading

Ein wesentlicher Vorteil der Sfs-Technologie (Shape from Shading) ist ihr hardwarearmer Aufbau. Für ein einfaches System genügt eine einzelne Kamera und eine preiswerte Punktlichtquelle, üblicherweise eine LED. Ge-



Oberflächenprüfung Kunstleder: links: Materialausschnitt 1×1 mm, Mitte: Ausschnittvergrößerung der Kunstleder Oberfläche bei zwei unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen, rechts: 3-dimensionale Rekonstruktion der Kunstleder Oberfläche mit Shape-from-Shading

genüber triangulierenden Systemen entfällt das Projektionssystem, das mit dem mehrfachen Preis der Kamera zu Buche schlagen kann. Die 3D-Vision Technologie auf Basis von Sfs eignet sich daher bestens für preiswerte Produktionsmesssysteme.

Ergebnisse

Beherrscht man die Modellierung der Reflektanzfunktion, eignet sich Shape from Shading nicht nur für astronomische Objekte, sondern auch für technische Oberflächen. In obiger Abbildung ist ein Stück Kunstleder mit einem an den Glanzlichtern erkennbaren spekularen Anteil der Reflektanzfunktion dargestellt. Beleuchtet man die Oberfläche aus zwei unterschiedlichen Richtungen erhält man die dargestellten Grauwertbilder. Die Auswertung dieser Bilder führt schließlich zur 3D-Struktur. Die Ledertexturen sind ca. 0,7 mm tief.

Flachere Strukturen bis unter $10 \mu\text{m}$ Tiefe sind bei entsprechend flachen Beleuchtungswinkeln gut zu vermessen. Bei der Überprüfung großer Flächen zählt



Mobiles Sfs-Messsystem mit $200 \times 200 \text{ mm}^2$ Messfeld. Die wesentlichen Elemente sind die Kamera im Kopf und die LED-Gruppen an den unteren Enden der Stativbeine

sich aus, dass die Tiefensensitivität von Sfs durch die Wahl des Beleuchtungswinkels unabhängig von der lateralen Auflösung des Systems an die Aufgabe angepasst werden kann.

Literatur

- [1] B. Horn: Height and Gradient from Shading, Technical report, Massachusetts Institute of Technology, 1989
- [2] Johann Heinrich Lambert: Photogrammetria, seu de mensura et gradibus luminis colorum et umbras, Augsburg, 1760
- [3] Bui-Tuong Phong : Illumination for Computer Generated Pictures, 1975

► **Autoren**
Dr. Georg Wiora,
 Leiter Strategische Projekte,
 NanoFocus



Dr. Christian Wöhler,
 Daimler AG



► **Kontakt**
 NanoFocus AG, Oberhausen
 Tel.: 0208/62000-0
 Fax: 0208/62000-99
 info@nanofocus.de
 www.nanofocus.de