

Kontrastunterdrückung subjektiver Speckles zur 3D-Vermessung

Andreas Walter Stark, Daniel Weigel, Holger Babovsky, Richard Kowarschik

Institut für Angewandte Optik, Universität Jena
Abbe Zentrum für Photonik
Zentrum für Medizinische Optik und Photonik

<mailto:andreas.stark@uni-jena.de>

Kohärente Projektionsverfahren zur 3D-Formvermessung haben, neben einigen Vorteilen gegenüber inkohärenten Verfahren, den Nachteil des Auftretens subjektiver Speckles. Dieser Effekt verringert die Genauigkeit und Vollständigkeit von 3D-Rekonstruktionen in der Stereophotogrammetrie. Durch eine nachträgliche Filterung kann dieser Effekt reduziert werden.

1 Einführung

In vielen Bereichen der Forschung, Industrie und Medizin werden aktive, stereophotogrammetrische Verfahren verwendet, um möglichst genaue Messungen von dreidimensionalen Oberflächen zu erhalten. Dabei wird oft von inkohärenten Verfahren, wie der Linienprojektion [1], der Projektion bandlimitierter Muster [2] oder auch von aperiodischen Sinus-Mustern [3], Gebrauch gemacht. Ein Verfahren, das im Vergleich dazu mit kohärentem Licht arbeitet, ist die Laserspeckle-Projektion [4]. Die hohe Projektionsrate ermöglicht dabei eine echtzeitfähige Vermessungsgeschwindigkeit. Zudem ist das schmalbandige Licht aufnahmeseitig filterbar, und die projizierten Muster haben eine sehr hohe Schärfentiefe von einigen Metern. Allerdings kommt es bei der Beobachtung der kohärenten Beleuchtungsstrukturen auf streuenden Oberflächen zur Ausbildung von Interferenzeffekten, sogenannten subjektiven Speckles. Diese verschlechtern die Rekonstruktionsgenauigkeit der 3D-Punkte. Durch eine numerische Nachbearbeitung kann der Kontrast der subjektiven Speckles gesenkt und so die Rekonstruktionsgenauigkeit verbessert werden.

2 Grundlagen

Als stereophotogrammetrisches System konzipiert, werden im Aufbau (s. Abb.1) zwei bezüglich ihrer inneren und äußeren Parameter kalibrierte Kameras verwendet. Das Projektionssystem besteht dabei aus einem Laser, dessen Strahl auf bzw. nahe einer Streuscheibe fokussiert wird. Die Wellenfront des Laserbündels wird durch die Rauigkeit der Streuscheibe statistisch variiert, und es kommt zur Ausbildung von Raumbereichen konstruktiver und destruktiver Interferenz, einer sogenannten Speckle-Verteilung. Eine Änderung der Position der Streuscheibe ermöglicht dabei die Ausbildung neuer, statistisch voneinander unabhängiger Muster. Speckle-Muster entstehen allerdings auch, indem kohärent beleuchtete, raue Objekte durch

eine Linse abgebildet werden. Diese sogenannten subjektiven Speckle-Verteilungen unterscheiden sich in den einzelnen Kameraansichten der Stereoaufnahme und stören so das Korrelationsverfahren, das zur Rekonstruktion der 3D-Punkte verwendet wird.

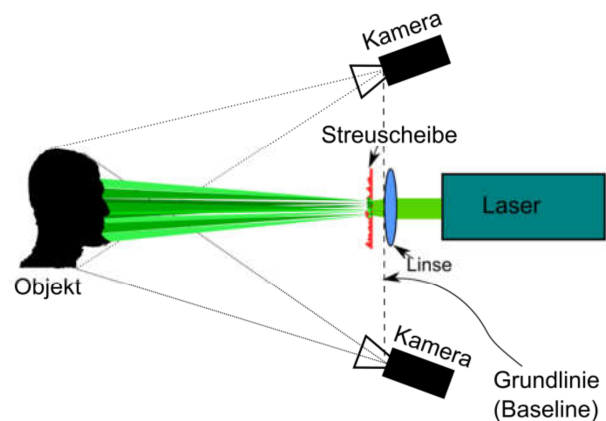


Abb. 1 Aufbau eines stereophotogrammetrischen Messsystems; zur Beleuchtung werden Laser-Speckles verwendet.

3 Filterungsprozess

Der Kontrast der störenden subjektiven Speckles kann reduziert werden, indem die Bilder nach der Aufnahme numerisch bearbeitet, also z. B. mit einer Filterfunktion gefaltet werden. Die hier verwendete Filterfunktion ist die Bessel-Sinc-Funktion (kurz Bsinc). Die Halbwertsbreite (HWB) der Filterfunktion kann dabei vergrößert werden, um von einer schwachen Filterung zu einer starken zu gelangen.

4 Ergebnis

Durch eine nachträgliche Filterung konnte der Kontrast der subjektiven Speckles von 0,22 auf 0,11 gesenkt werden (siehe Abb.2).

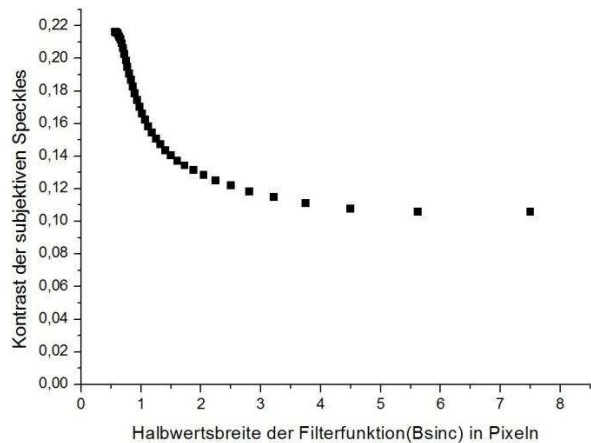


Abb. 2 Kontrast der subjektiven Speckles aus Kameraaufnahmen, aufgetragen über die HWB der Filterfunktion. Die Aufnahmen wurden nachträglich mit einer Filterfunktion (Bsinc) gefaltet.

Um zu zeigen, dass auch die Rekonstruktionsgenauigkeit verbessert werden konnte, wurde eine Ebene mit dem beschriebenen System vermessen und 30 Stereoaufnahmen mit verschiedenen objektiven Speckle-Mustern gemacht. Dieser Satz an Bildpaaren wurde mit Filterfunktionen verschiedener Halbwertsbreiten gefaltet und die Ergebnisse dieser Operation anschließend für die Rekonstruktion der 3D-Punktwolken verwendet. Dabei wurde ein zeitliches Korrelationsverfahren zur Lösung des Korrespondenzproblems und Triangulation zur anschließenden Bestimmung der 3D-Punkte angewendet.

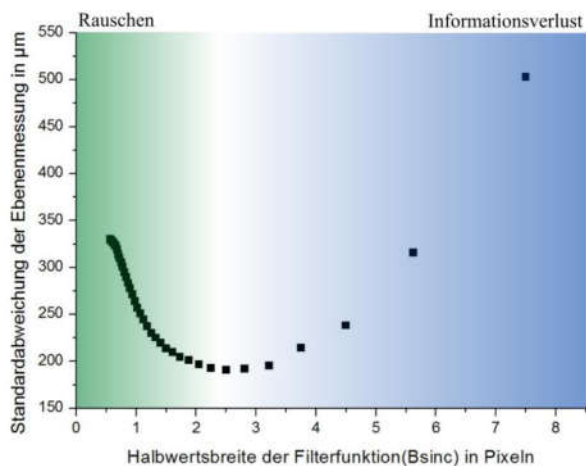


Abb. 3 Standardabweichung des Abstandes von rekonstruierten 3D-Punkten zur am besten angepassten Ebene* aufgetragen über die HWB der Filterfunktion.

Um die Qualität der Rekonstruktion zu bewerten, wurde aus den gewonnenen Punkten eine Hauptebene gebildet und die Standardabweichung aus den Differenzen der 3D-Punkte zur am besten angepassten Ebene* (Ebene mit dem geringsten Abstand zu den einzelnen 3D-Punkten) über die

Halbwertsbreite der verwendeten Filterfunktion aufgetragen (siehe Abb.3). Die Standardabweichung konnte durch die Filteroperation von 330 µm auf 190 µm gesenkt werden. Allerdings führte eine stärkere Filterung auch zu Informationsverlusten, die die Vollständigkeit der Rekonstruktionen stark beeinflussten (siehe Abb. 4). Die Anzahl der rekonstruierten Punkte sank in Folge der für ebene Objekte optimierten Filterung von 218.965 auf 195.131.

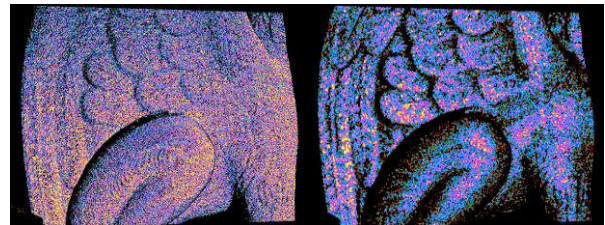


Abb. 4 A) Rekonstruktion eines nicht ebenen Objektes ohne Filterung. B) Rekonstruktion eines nicht ebenen Objektes mit einer für ebene Objekte optimalen Filterung.

5 Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass sich der Kontrast subjektiver Speckles durch eine numerische Nachbearbeitung für unsere Konfiguration von 0,22 auf 0,11 senken lässt. Auch die Rekonstruktionsgenauigkeit konnte gesteigert werden. Im Ergebnis lässt sich feststellen, dass es ein Optimum für die Stärke der Filterung gibt. Diese muss anwendungs- bzw. objektabhängig gewählt werden, um zu verhindern, dass auch Objektinformationen verloren gehen.

6 Förderung

Das diesem Beitrag zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03ZZ0425H gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Literatur

- [1] H. Nguyen, D. Nguyen, Z. Wang, H. Kieu und M. Le, "Real-time, high-accuracy 3D imaging and shape measurement" in: *Applied Optics*, **54**(1), A9 (2014)
- [2] A. Wiegmann, H. Wagner und R. Kowarschik, "Human face measurement by projecting bandlimited random patterns" in: *Optics Express* **14**(17), 7692 (2006)
- [3] S. Heist, A. Mann, P. Kühmstedt, P. Schreiber und G. Notni, "Array projection of aperiodic sinusoidal fringes for high-speed three-dimensional shape measurement" in: *Optical Engineering* **53**(21), 112208 (2014)
- [4] M. Schaffer, M. Grosse und R. Kowarschik in: "High-speed pattern projection for three-dimensional shape measurement using laser speckles" in: *Applied Optics* **49**(18), 3622 (2010)