

Endoskopische 3D-Rekonstruktion mit kohärenztheoretisch optimierter Beleuchtung

Antonia Popp*, Frank Wolfsgruber*, Ingo Scholz**, Gerd Häusler*

* *Institut für Optik, Information und Photonik, Max-Planck-Forschungsgruppe, Universität Erlangen-Nürnberg*

** *Institut für Informatik, Lehrstuhl für Mustererkennung, Universität Erlangen-Nürnberg*

<mailto:antonia.popp@gmail.com>

Es wird gezeigt wie groß die minimale durch kohärentes Rauschen bedingte Messunsicherheit bei der endoskopischen 3D-Vermessung eines Hohlraums ist. Wir stellen eine modifizierte Endoskopbeleuchtung vor, mit deren Hilfe genauere und dichtere 3D-Punktewolken rekonstruiert werden können.

1 Einführung

Es wird ein neues Verfahren zur genaueren 3D-Erfassung von Hohlräumen mit dem Endoskop vorgestellt. Es basiert auf dem bekannten Verfahren des „Structure from Motion“. Hierbei werden Merkmale aus 2D-Bildern einer Szene extrahiert und über eine möglichst lange Bildsequenz verfolgt (Tracking) [1]. Aus der Verschiebung (Disparität) der korrespondierenden Punkte in den verschiedenen Bildern können die 3D-Koordinaten des jeweiligen Punktes errechnet werden [2].

Wir haben die Messunsicherheit des Sensorprinzips für verschiedene Hohlraumgeometrien untersucht. Im Vergleich zu üblichen Messanordnungen kann die ungünstige Geometrie bei Messungen von Hohlraumwänden mit Endoskopen zu einem höheren Messfehler führen.

Es wurde eine modifizierte Endoskopbeleuchtung getestet, die nach kohärenztheoretischen Gesichtspunkten optimiert wurde. Dadurch können in der 2D-Bildsequenz mehr objektene Merkmale gefunden werden. Diese Merkmale sind außerdem kontrastreicher und können über eine längere Strecke verfolgt werden. Die Messunsicherheit kann dadurch deutlich verringert werden.

2 Theorie zur Messunsicherheit

Für eine qualitativ hochwertige 3D-Messung müssen die korrespondierenden Punkte, über die 2D-Bildsequenz verfolgt werden. Die objekteneigenen Merkmale müssen folgende Eigenschaften besitzen:

- Lokalisierbar mit hoher Genauigkeit
- homogene und dichte Verteilung über die Oberfläche
- über eine lange Strecke verfolgbar.

Sind Merkmale über viele 2D-Bilder verfolgbar, dann steht für die Rekonstruktion eine lange Triangulationsbasis zur Verfügung. Dies verringert die Messunsicherheit.

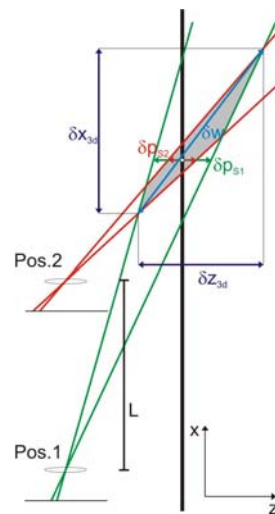


Abb. 1 Messunsicherheit δw im Hohlraum (δp : Lokalisierungsfehler aufgrund von Specklerauschen)

Unabhängig von technischen Gegebenheiten und Textureigenschaften des Objekts, ist die Lokalisierbarkeit eines Merkmals immer beschränkt durch kohärentes Rauschen, so genanntes Specklerauschen [3]. Je kohärenter (zeitlich oder räumlich) die verwendete Beleuchtung ist, desto größer ist das Specklerauschen.

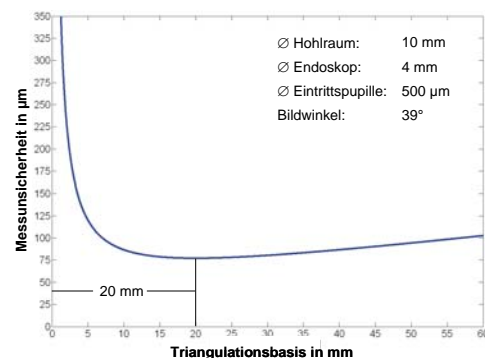


Abb. 2 Minimale Messunsicherheit abhängig von der Länge der Triangulationsbasis

Lässt man nun theoretisch ausschließlich das Specklerauschen als Fehlerquelle zu und berücksichtigt die in Abbildung 1 dargestellten geo-

metrischen Verhältnisse im Hohlraum, kann man eine theoretisch erreichbare minimale Messunsicherheit errechnen (Abb. 2).

Abbildung 2 zeigt die theoretisch erreichbare Messunsicherheit abhängig von der Länge der Triangulationsbasis. Unabhängig von bestimmten technischen Größen ist allen solchen Kurven für die Hohlraumgeometrie gemeinsam, dass es eine optimale Länge für die Triangulationsbasis gibt.

3 Modifikation der Beleuchtung

Bei der Wahl der passenden Beleuchtung muss ein Kompromiss eingegangen werden. Eine relativ inkohärente Lichtquelle verursacht geringes Specklerauschen, aber erzeugt auch nur kontrastarme und wenige Merkmale. Merkmale, die durch Unebenheiten in der Objektoberfläche verursacht werden, sind bei gerichteter, also kohärenter, Beleuchtung besser sichtbar (Shading-Effekt)[4].

Im Versuchsaufbau wurde deshalb die ursprüngliche relativ ausgedehnte Ringbeleuchtung des Endoskops durch vier kleinere Lichtquellen ersetzt (Abb. 3).

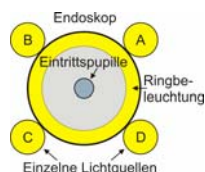


Abb. 3 Modifizierte Beleuchtung

Die vier kleinen Lichtquellen (A,B,C,D) können einzeln angesteuert werden. Für die folgenden Messergebnisse wurden vier Bildsequenzen mit jeweils einer Einzellichtquelle aufgenommen und getrackt. Aus allen vier Sequenzen gemeinsam wurde dann eine 3D-Punktwolke des gemessenen Hohlraums rekonstruiert [5].

4 Messergebnisse

Abbildung 4 zeigt die Vermessung einer metallischen Stufenbohrung. Man erkennt, dass in einer 2D-Aufnahme an der gleichen Stelle bei Beleuchtung mit den vier Einzelbeleuchtungen fast viermal mehr Merkmale gefunden werden als mit der Ringbeleuchtung. Dementsprechend mehr 3D-Punkte wurden auch rekonstruiert (Abb. 5).

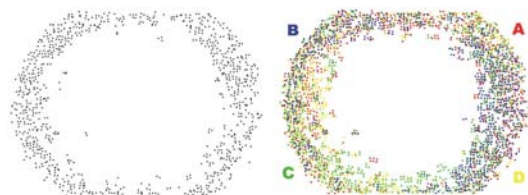


Abb. 4 Gefundene Merkmale bei Ring (links)- und Einzelbeleuchtung (rechts)

Um auch die Abhängigkeit der Messunsicherheit von der Länge der Triangulationsbasis zu

demonstrieren, wurde die Stufenbohrung mehrfach mit unterschiedlich langen Triangulationsbasen rekonstruiert.

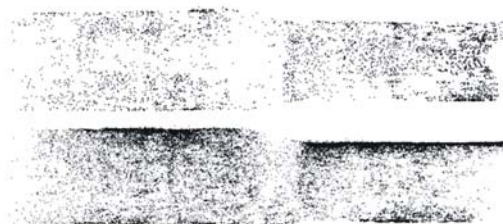


Abb. 5 Seitenansicht der rekonstruierten Punktwolke einer Stufenbohrung bei Ringbeleuchtung (oben) und Einzelbeleuchtung (unten)

Abbildung 6 illustriert die deutlich höhere Messunsicherheit für den Fall, dass nur kurze Korrespondenzketten verwendet werden. Werden auch lange Ketten hinzugenommen, steigt die Genauigkeit.

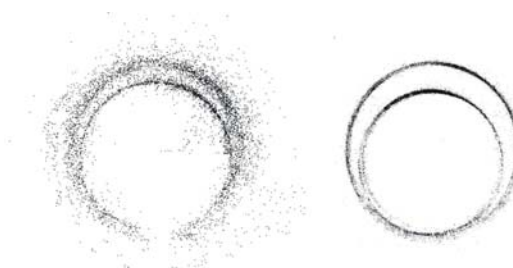


Abb. 6 Frontalansicht der Punktwolke, Triangulationsbasis links: 4mm, rechts: 4-20mm

Durch die modifizierte Beleuchtung konnte die Anzahl der gefundenen Merkmale deutlich erhöht werden. Auch konnten diese über eine signifikant längere Strecke verfolgt werden.

Danksagung

Dieses Projekt wird von der DFG (SFB 603) finanziert. Wir bedanken uns für die Hilfe von Dr. Ch. Vogelgsang, Lehrstuhl für graphische Datenverarbeitung, Universität Erlangen, Ch. Winter und Dr. T. Wittenberg vom Fraunhofer Institut IIS.

Literatur

- [1] C. Tomasi, T. Kanade, CMUCS- 91-132, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA (1991).
- [2] C. Tomasi, T. Kanade, CMU-CS-92-104, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA (1992).
- [3] R. Dorsch, G. Häusler, J. Herrmann, Appl. Opt. 33(7), 1306–1314 (1994)
- [4] C. Wagner, G. Häusler, Appl. Opt. 42(27), 5418-5426 (2003)
- [5] C. Vogelgsang, I. Scholz, G. Greiner, H. Niemann, Vision, Modeling and Visualization (VMV), Erlangen, 257–264 (2002).