10. Workshop Automatisierungstechnische Verfahren für die Medizin vom 29. bis 30. März 2012 in Aachen



"Ein Verfahren zur Kalibrierung von Operationsmikroskopen für chirurgische Augmented-Reality Anwendungen"

Christian Winne, Erwin Keeve Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, Berlin, Deutschland E-Mail: keeve@charite.de

Fabian Stopp, Erwin Keeve Charité - Universitätsmedizin Berlin, Deutschland

Andreas Reutter Scopis GmbH, Berlin, Deutschland

Copyright: VDI Verlag GmbH

Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 286 "Automatisierungstechnische

Verfahren für die Medizin"

Editors: Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt, Prof. Dr.-Ing. Dirk Abel, Prof. Dr.-

Ing. Klaus Radermacher, Christian Brendle, Henry Arenbeck, Kurt Gerlach-

Hahn, Kirsa Dannenberg

ISBN: 978-3-18-328617-1

Pages: 42-43

Ein Verfahren zur Kalibrierung von Operationsmikroskopen für chirurgische Augmented-Reality Anwendungen

Christian Winne¹, Fabian Stopp², Andreas Reutter³ und Erwin Keeve^{1,2}

Kontakt: keeve@charite.de

Einleitung

Bei der computerassistierten Chirurgie visualisieren klinische Navigationssysteme die Position chirurgischer Instrumente innerhalb von 3-D Bilddaten des Patienten. Die Anbindung eines Operationsmikroskops an Navigationssysteme ermöglicht die Überlagerung des Mikroskopbildes mit zusätzlichen Informationen. Voraussetzung für die lagerichtige Einblendung von Planungsdaten oder Navigationsinformationen ist neben der Erfassung der Mikroskopposition die Kenntnis über die aktuellen optischen Eigenschaften des Operationsmikroskops. Besondere Herausforderung stellt hierbei die intraoperative Verstellbarkeit der Zoomund Fokusparameter des Mikroskops durch den Chirurgen dar. In diesem Artikel wird ein prä- und intraoperatives Kafür mikroskopbasierte chirurgische Augmented-Reality-Anwendungen und dessen Evaluierung vorgestellt.

Methoden und Materialien

Es wurde eine zweiteiliges Kalibrierverfahren entwickelt und mit dem Operationsmikroskop Zeiss OPMI Vario evaluiert. Das Mikroskop (Abb. 1) ist mit einer Navigationsschnittstelle ausgerüstet, die das Abfragen der aktuellen Zoom- und Fokuseinstellung des Mikroskops über eine serielle Schnittstelle ermöglicht. Neben einem Kalibrierkörper mit Punktmuster wurde ein optischer Lokalisator konstruiert und gefertigt, der flexibel am Mikroskop befestigt werden kann und die Erfassung der Mikroskopposition durch das optische Messsystem eines Navigationssystems erlaubt

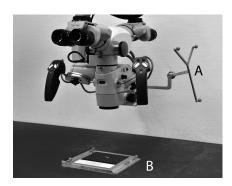


Abb. 1: Operationsmikroskop Zeiss OPMI Vario mit optischem Lokalisator (A) und Kalibrierkörper (B)

Das vorgestellte Verfahren setzt sich aus einer einmalig durchzuführenden, aufwändigen, präoperativen Kalibrierung sowie einer intraoperativen Kalibrieranpassung zusammen.

Präoperative Kalibrierung

Die präoperative Kalibrierung hat das Ziel, die Abbildungseigenschaften für den gesamten Zoom- und Fokusbereich des Mikroskops zu ermitteln, dazu zählen die intrinsischen Kameraparameter des Mikroskopsystems wie Brennweite oder Bildverzerrung sowie die extrinischen Parameter in Bezug auf die aktuelle Position des Mikroskoplokalisators.

Hierfür werden an 80 Zoom-Fokus-Einstellungen des Mikroskops einzelne Kalibrierungen durchgeführt. Um die Überlagerung des Mikroskopbildes intraoperativ auch an anderen Zoom-Fokuseinstellungen zuzulassen, werden basierend auf den Kalibrierergebnissen polynomielle Funktionen für die einzelnen Kameraparameter approximiert [1].

Zur Bestimmung der Kameraeigenschaften wurde bereits eine Vielzahl von Verfahren und Algorithmen vorgestellt [2,3]. Hierbei ist es jeweils notwendig, ein Kalibriermuster in verschiedenen Positionen vor der Kamera zu positionieren, so dass bekannte optische Marker im Videobild detektiert und identifiziert werden können. Wir nutzen Tsai's Kalibrieralgorithmus für nicht-koplanar verteilte 3-D Punkte [2]. Diese 3-D Punkte müssen dabei entlang der optischen Achse des Mikroskops hinreichend verteilt sein, um stabile Kalibrierergebnisse zu gewährleisten. Bei der Kalibrierdurchführung ergeben sich jedoch folgende Probleme:

- Hoher Aufwand durch mehrmalige Repositionierung des Kalibrierkörpers oder des Mikroskops pro Kalibrierung einer Zoom-Fokus-Position
- Sehr geringe Tiefenschärfe des Mikroskops bei hohen Zoomeinstellungen, wodurch sich die Erfassung von Messpunkten mit ausreichender Verteilung schwierig gestaltet

Um diese Probleme zu minimieren wurde ein Kalibrierverfahren basierend auf einer Modifikation von Tsai's Kalibrieralgorithmus entwickelt [4]. Unter Voraussetzung der vorherigen Kenntnis der Brennweite und der Richtung der optischen Achse ist nun die Verteilung der 3-D Punkte in der Fokusebene ausreichend. Daher wird bei der präoperativen Kalibrierung zuerst für 17 der zu kalibrierenden Zoom-Fokus-Positionen die aufwändige nicht-koplanare Messpunkterfassung durchgeführt. Aus diesen Ergebnissen wird die Brennweite und die Rotation für den gesamten

¹Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, Berlin, Deutschland

²Charité - Universitätsmedizin Berlin, Deutschland

³Scopis GmbH, Berlin, Deutschland

Zoom-Fokus-Bereich extrapoliert. Im Anschluss werden die verbleibenden Zoom-Fokus-Positionen basierend auf ausschließlich in der Fokusebene liegenden Messpunkten kalibriert. Abb. 2 zeigt exemplarisch die Kalibrierergebnisse für die Brennweite und den z-Anteil der Translation der extrinsischen Transformationsmatrix.

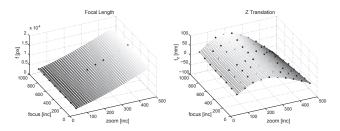


Abb. 2: Kalibrierergebnisse für die Brennweite und den z-Anteil der Translation für den gesamten Zoom-Fokus-Bereich des Mikroskops

Intraoperative Kalibrierung

Ziel der intraoperativen Kalibrierung ist es, die Abweichung des aktuellen Zustands des Systems bezüglich des Zustands zum Zeitpunkt der präoperativen Kalibrierung zu bestimmen. Mit der Grundannahme der Konstanz der intrinsischen Kameraparameter muss nun ausschließlich die Änderung der extrinsischen Parameter aufgrund der flexiblen Anbringung des Mikroskoplokalisators erfasst werden. Dazu wird an der Zoom-Fokus-Position $(z_{min} + 0, 25 \cdot (z_{max} - z_{min}); 0, 5 \cdot (f_{min} + f_{max}))$ eine Kalibrierung basierend auf nicht-koplanar verteilten 3-D Messpunkten durchgeführt. Aus den extrinsischen Parametern der präoperativen und der intraoperativen Kalibrierung kann nun eine Korrekturtransformation berechnet werden, die die veränderte Anbringung des Mikroskoplokalisators beschreibt.

Ergebnisse und Diskussion

Die entwickelte Mikroskopkalibrierung wurde in Bezug auf die erreichbare Überlagerungsgenauigkeit im mikroskopischen Videobild untersucht. Zur Erfassung von dafür notwendigen Referenzdaten wurde der Kalibrierkörper des Mikroskops genutzt. Mit Hilfe der Analyse des Mikroskopbildes wurden die 2-D Koordinaten der Punktmarker erfasst. Die Erfassung der Lage der 3-D Koordinaten der Punktmarker erfolgt mit Hilfe der Navigationskamera NDI Polaris Accedo. Für die Berechnung des Überlagerungsfehlers in Millimetern wurde die Rückprojektionsmethode genutzt, bei der durch die 2-D Bildposition eines erkannten Markers in der Bildebene eine Linie zum Kameraursprung berechnet wird. Der Abstand der Linie zur 3-D Position des Markers definiert den Überlagerungsfehler. Für die Untersuchung wurde eine präoperative Kalibrierung durchgeführt, anschließend erfolgten bei unterschiedlicher Anbringung des Lokalisators am Mikroskop zehn intraoperative Kalibrierungen und jeweils die Ermittlung der Überlagerungsfehler an 49 Zoom-Fokus-Positionen.

Der mittlere Überlagerungsfehler im mikroskopischen Videobild beträgt $0.61\pm0.35\,$ mm. Die Abb. 3 zeigt die Verteilung der Fehler über den gesamten Zoom-Fokus-Bereich des Mikroskops. Auffällig ist hier vor allem der Bereich niedriger Fehlerwerte in der Nähe der Zoom-Fokus-Einstellung der intraoperativen Kalibrierung. Dieser resultiert aus der Optimierung der Korrekturtransformation für diese Zoom-Fokus-Einstellung während des intraoperativen Kalibrierschritts. Außerdem treten die größten Fehler bei sehr großen Fokuseinstellungen auf. Dies resultiert aus einer Erhöhung des Einflusses von Messfehlern der Navigationskamera aufgrund größerer Abstände des Mikroskoplokalisators zur Fokusebene des Mikroskops.

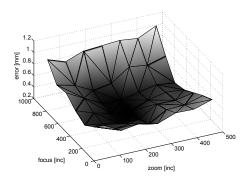


Abb. 3: Verteilung des mittleren Überlagerungsfehlers im Mikroskop über den gesamten Zoom-Fokus-Bereich

Schlussfolgerungen

In diesem Artikel wurde ein Verfahren zur Kalibrierung eines Operationsmikroskops für chirurgische Augmented-Reality-Anwendungen vorgestellt. Die Gliederung des Verfahrens in einen präoperativen und einen intraoperativen Teil ermöglicht eine einmalige, aufwändige, präoperative Kalibrierung durch technisches Personal und eine schnelle, intraoperative Kalibrieranpassung durch den Chirurgen. Der gemessene mittlere Überlagerungsfehler von 0,61 mm lässt in Abhängigkeit von den klinischen Genauigkeitsanforderungen eine Eignung für chirurgische Augmented-Reality-Anwendungen erwarten.

Literatur

- WILLSON, Reg: Modeling and Calibration of Automated Zoom Lenses. Pittsburgh, PA, Carnegie Mellon University, Diss., January 1994
- [2] TSAI, Roger Y.: A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using offthe-shelf TV cameras and lenses. In: *IEEE Transactions on Robotics and Automation* 3 (1987), Nr. 4, S. 323–344
- [3] ZHANG, Zhengyou: A Flexible New Technique for Camera Calibration. In: *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 22 (2000), Nr. 11, S. 1330–1334
- [4] WINNE, Christian; STOPP, Fabian; JANK, Emanuel; KEEVE, Erwin: New two-stage method for calibrating a surgical microscope. In: International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 3 (2008), Nr. Suppl. 1, S. S270–S271