

Kalibrierung einer Stereo-Durchsichtbrille in einem System der erweiterten Realität

Sassan Ghanai^a, Tobias Salb^b, Georg Eggers^a, Rüdiger Dillmann^b,
Joachim Mühling^a, Rüdiger Marmulla^a und Stefan Hassfeld^a

^aUniversität Heidelberg, Klinik für Mund-, Kiefer-, Gesichts-Chirurgie,
Im Neuenheimer Feld 400, 69120 Heidelberg

^bUniversität Karlsruhe (TH), Fakultät für Informatik, Institut für Rechnerentwurf
und Fehlertoleranz, Haid-und-Neu Str. 7, 76131 Karlsruhe
Email: sassan.ghanai@med.uni-heidelberg.de

Zusammenfassung. In dieser Arbeit wird das Ergebnis der kamerалosen Kalibrierung einer Durchsichtbrille für die Erweiterte Realität (kurz ER) im INPRES System (intraoperative presentation of surgical planning and simulation results) [1] präsentiert, welche zur Überblendung von Patientendaten verwendet wird. Weiter wird ein Einblick in das Resultat der ersten klinischen Testphase gegeben. Zur Darstellung der erweiterten Realität wird eine kommerziell verfügbare optische Brille, die Sony Glasstron LDI-100D, verwendet. Das optische Polaris-Trackingsystem der Firma NDI wird zur Lokalisation der Brille, des Patienten und der unterschiedlichen medizinischen Instrumente genutzt. Die Kalibrierung wurde nach viel versprechenden Testergebnissen unter Laborbedingungen in einer realen klinischen Umgebung evaluiert.

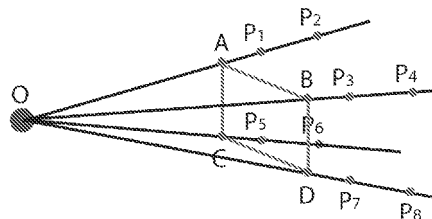
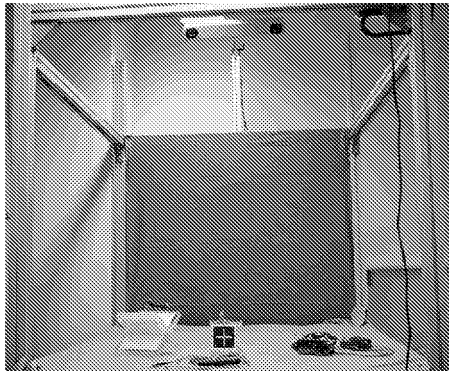
1 Problemstellung

Die kraniofaziale Chirurgie ist eine komplexe medizinische Disziplin, die mehrere Risiken für den Chirurgen und den Patienten in sich birgt. Eine Vorbereitung eines solchen Eingriffes fordert dem Chirurgen ein hohes Maß an räumlichem Vorstellungsvermögen ab. Das INPRES-System soll die Bewältigung dieser Aufgabe durch die Visualisierung von patientenbezogenen Daten in der ER-Brille erleichtern. Dabei werden die CT-Daten im Vorfeld zu einem dreidimensionalen Modell zusammengefügt. Um eine realitätsgetreue Überdeckung der ER mit der realen Umgebung zu erreichen müssen sämtliche Instrumente und der Patient registriert werden. Zudem müssen die spezifischen visuellen Eigenschaften des Betrachters durch den Kalibrierungsprozess festgestellt und in das System übertragen werden.

2 Stand der Forschung

In den vergangenen Jahren wurden etliche Systeme der Erweiterten Realität für medizinische Anwendungen entwickelt. Einer der ersten Ansätze stammt

Abb. 1. Links: INPRES-Szenario (von links X-förmiges Modell, Kalibrierkörper, Sony Glasstron und vorne Pointer). Rechts: Seh-Pyramide



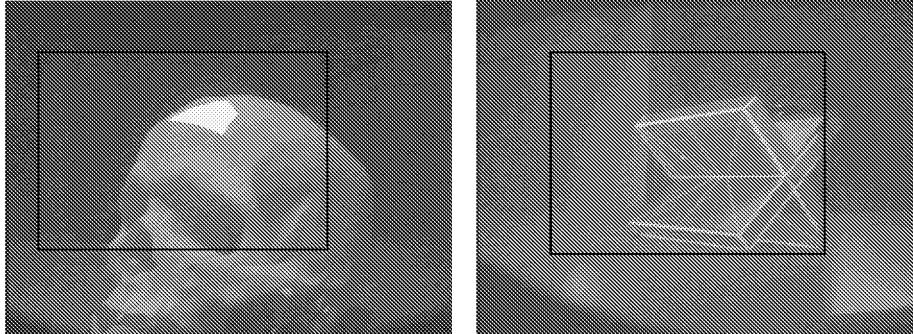
von der University of North Carolina, wo ER zur Unterstützung laparoskopischer Eingriffe verwendet wird [2]. Videobilder des Endoskops werden hier in einer Durchsichtbrille mit Aufnahmen des Patienten überlagert und um medizinisch relevante Informationen ergänzt, etwa die Sollposition einer Biopsienadel. Am Universitätsklinikum Wien entstand ein System auf Basis eines tragbaren Operationsmikroskops [4]. Dieses „Varioscope“ profitiert von den optischen Vorteilen des Mikroskops wie Autofokus und geringes Gewicht und wurde bereits erfolgreich an Phantomschädeln evaluiert. Ein weiterer Ansatz zur Biopsieunterstützung auf Basis einer Durchsichtbrille wurde von der Firma Siemens [3] realisiert. An der Universität Karlsruhe wurde in Zusammenarbeit mit den Autoren dieses Beitrags ein System zur Realisierung Erweiterter Realität für die kraniofaziale Chirurgie unter Verwendung eines Video-Beamers entwickelt.

Eine Kalibrierung für Durchsichtbrillen ohne Kameraunterstützung bietet das Studierstube-Projekt der TU Wien [6] an. Bei diesem Verfahren werden für jedes Auge jeweils vier virtuelle Kreuze einzeln in die Brille eingeblendet. Jedes dieser Kreuze wird mit einem dynamischen Referenzkreuz in Deckung gebracht und zur Erhebung der Daten für die Kalibrierung „markiert“. Das Markieren geschieht durch das Drücken eines Knopfes, der an dem Stab, der das Referenzkreuz trägt, angebracht ist [7]. Dieses Verfahren könnte nachteilig sein, da das Referenzkreuz und der Knopf zur Markierung von Positionen an einem Instrument angebracht sind, da das Instrument jeder Bewegung der Hand folgt. Eine alternative kameralose Kalibrieremethode wird in [8] vorgeschlagen.

3 Fortschritt und Methoden

Das INPRES System ermöglicht dem Chirurgen im OP die präoperativ vorbereiteten Daten zu visualisieren. Risikobereiche, die während der Planung markiert wurden, können durch die Superposition intraoperativ dargestellt werden und dienen der Minimierung des Operationsrisikos.

Abb. 2. Links: Einblendung einer Trajektorie OS frontale. Rechts: Superposition des X-förmigen Modells



Voraussetzung für eine realitätsnahe Überdeckung ist eine gute Kalibrierung der Brille. Während des Kalibrierungsprozesses, welche sich an der Grundidee der „schnellen Kalibrierung“ aus der „Studierstube“ citeFuhrmann00 anlehnt, werden der Augenabstand, die Knotenpunkte der Augen und weiteren Parameter bestimmt. Der Knotenpunkt ist bei einer vereinfachten Vorstellung der virtuelle Punkt, an dem das Bild des Objektes im Auge gespiegelt wird. Errechnet wird dieser durch die Schnittpunktbildung mehrerer Sichtgeraden, die zwischen einem Referenzkreuz, dem in der Brille eingblendeten virtuellen Kreuz und dem Auge des Betrachters virtuell entstehen. Für jedes Auge werden acht Kreuze nach dem Kimme-Korn Prinzip „markiert“. Die Markierung wird durch einen aktiven Zeigestab bestätigt. Das Referenzkreuz befindet sich auf einem vom Navigationssystem getracktem Körper, der auf ein Stativ angebracht werden kann um ihn auf die Augenhöhe des Betrachters anzupassen. Die acht virtuellen Kreuze (P1...P8), die für jedes Auge eingblendet werden, sind in zwei Ebenen einer Sehpyramide angeordnet um den benötigten Knotenpunkt berechnen zu können (siehe Abbildung 1 rechts). Aus der gewonnen Punktwolke kann nun durch geeignete trigonometrische Umformungen auf die benötigten Parameter geschlossen werden. Zudem werden aus den Punktwolken die für eine Stereoeinblendung nötigen Brillenparameter extrahiert. Durch die menschliche Betrachtungsweise eines Punktes kann es zu Abweichungen bei der Bestimmung des Knotenpunktes kommen. Dieser Fehler kann durch die Verwendung der kleinste-Quadrate-Methode verringert werden.

4 Ergebnis und Diskussion

Eine quantitative Bewertung einer Kalibrierung einer optischen Durchsichtbrille erscheint sehr schwierig, da lediglich der Nutzer das Betrachtete bewerten kann. Eine Zuhilfenahme einer Skala scheint oft nicht praktikabel, da der Nutzer zwei unterschiedliche Dinge fokussieren muss, wenn diese nicht auf derselben Ebene liegen. Somit erscheint das Projektierte unscharf, wenn man die Skala fokussiert und umgekehrt. Somit sind die angegebenen Werte nur Annäherungen. Die

Abbildung 2 zeigt eine Einblendung einer Trajektorie und eine Superposition anhand des X-förmigen Modells.

Für eine Evaluation durch Mediziner und Technikern unter Laborbedingungen, wurden zwölf Personen gebeten die vollständige Registrierung und Kalibrierung des Systems vorzunehmen. Als letzten Schritt soll die Komplexität, Latenz, Funktionalität und Qualität der Überdeckung bewertet werden. Die Güte der Überdeckung wurde anhand eines X-förmigen Testkörpers vorgenommen. Es konnte festgestellt werden, dass eine vorhandene ER-Erfahrung zu einem besseren Ergebnis der Superposition führt. Die translatorischen Abweichungen lagen bei 1,94 mm in der Gruppe der erfahrenen Personen, und 5,88 mm in der Zweiten. Rotatorische Ungenauigkeiten wurden bei Personen, die bereits mit ER-Systemen gearbeitet haben gar nicht festgestellt. Hingegen empfand die zweite Gruppe eine Abweichung von 2,02 mm.

Die Ergebnisse lassen die Folgerung zu, dass ER- erfahrene Personen eine bessere Wahrnehmung der Überlagerung haben. Ein weiterer Unterschied liegt in der Bewertung des Systems durch die Probanden. Die technischen Experten bezeichneten die Kalibrierung im Gegensatz zu den Medizinern als weniger einfach. Die medizinischen Probanden waren teilweise weniger von dem Resultat der Überdeckung begeistert. Außerdem berichtete diese Gruppe vereinzelt über Fokussierprobleme.

Die erste Testphase im OP zeigte jedoch einige Schwachpunkte auf, die in der weiteren Entwicklung zu kleineren Modifikationen führten um vor allen Dingen die Handhabung des Systems zu erleichtern. Zudem wurde der Tragekomfort der Brille verbessert. Eine zweite Testphase mit einem überarbeiteten System steht noch aus. Die Kalibrierung wies trotz einer geringen Abweichung im Labor noch Verbesserungspotenzial auf, das es im weiteren Entwicklungsprozess auszuschöpfen gilt [9].

Der Kalibrierprozess vereinfacht die Handhabung der Kalibrierung gegenüber dem dynamischen Punkteverfahren, das in der „schnellen Kalibrierung“ beschrieben wurde. Zudem minimiert diese Vorgehensweise eine eventuelle Ungenauigkeit durch körpereigene Ausgleichbewegungen auf die Bewegungen des Kopfes.

Literaturverzeichnis

1. T. Salb et. al.: INPRES (intraoperative presentation of surgical planning and simulation results) - augmented reality for craniofacial surgery. In J. Merritt et. al., Hrsg., Tagungsband: SPIE Electronic Imaging. International Conference on Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems, San Jose, CA, 2003. SPIE Press.
2. M. Rosenthal et al.: Augmented reality guidance for needle biopsies: A randomized, controlled trial in phantoms. In W. Niessen et. al., Hrsg., Tagungsband: International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), Seiten 241-248, Utrecht, Niederlande, 2001. Springer-Verlag.
3. F. Sauer et. al. A head-mounted display system for augmented reality image guidance: Towards clinical evaluation for iMRI-guided neurosurgery. In W. Niessen et. al., Hrsg., Tagungsband: International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), Seiten 707-716, Utrecht, Niederlande, 2001. Springer-Verlag.

4. W. Birkfellner et al. A head-mounted operating binocular for augmented reality visualization in medicine - design and initial evaluation. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 21(8):991-997, 2002.
5. H. Hoppe et. al. Intraoperative visualization of surgical planning data using video projectors. In J. Westwood et. al., Hrsg., Tagungsband: Medicine Meets Virtual Reality (MMVR), Seiten 206-208, Newport Beach, CA, 2001. IOS Press and Ohmsha.
6. A. Fuhrmann et. al. Fast calibration for augmented reality. 1999.
7. A. Fuhrmann et. al. Practical calibration procedures for augmented reality. Tagungsband: Eurographics Workshop on Virtual Environments, 2000.
8. Y. Genc et. al. Practical solutions for calibration of optical see-through devices. Tagungsband: IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), Seiten 169-175, Darmstadt, 2002. IEEE CS Press.
9. X T. Salb et. al. INPRES (intraoperative presentation of surgical planning and simulation results) - augmented reality for craniofacial surgery. In J. Merritt et. al., Herausgeber: SPIE Electronic Imaging. International Conference on Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems, San Jose, CA, 2003. SPIE Press.