

Ergebnisse eines neuen Kalibrier-Algorithmus für Augmented-Reality-Systeme mit hohen Genauigkeits-Anforderungen

Lüder A. Kahrs, Harald Hoppe, Jörg Raczkowsky und Heinz Wörn

Institut für Prozessrechentechik, Automation und Robotik,
Universität Karlsruhe (TH), 76128 Karlsruhe
Email: kahrs@ira.uka.de

Zusammenfassung. Bei dem Einsatz von Systemen der Erweiterten Realität im klinischen Bereich ist eine hohe Genauigkeit an die Einblendungen gefordert, wenn Schnittlinien, Tumore oder Risikostrukturen realitätsgetreu auf den Patienten projiziert werden sollen. Für die Realisierung solcher Projektionen mit diesem Anforderungsprofil ist eine genaue Kalibrierung der Projektionsgeräte sehr wichtig. Die Ergebnisse eines neuen Kalibrier-Algorithmus werden im Folgenden anhand von See-through-Bildern eines Virtual-Retinal-Display gezeigt.

1 Einleitung

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 414 werden Operationspläne für die Kopfchirurgie erstellt, die sowohl mit einem Roboter umgesetzt oder mit Systemen der Erweiterten Realität (Augmented Reality, AR) visualisiert werden können [1]. Präzise Einblendungen mit Hilfe der Erweiterten Realität sind hier und in vielen anderen klinischen Bereichen gefordert, die sich nur mit einer genauen Kalibrierung realisieren lassen, sodass die Daten örtlich exakt projiziert werden [2]. Für AR-Systeme, die auf der Projektion von physikalisch virtuellen Bildern beruhen, werden hier Ergebnisse vorgestellt. Physikalisch virtuelle Bilder entstehen vor dem Auge des Betrachters bei Optical-See-Through-Head-Mounted-Displays (OST-HMDs) oder bei AR-Operationsmikroskopen.

Bei dem verwendeten Algorithmus handelt es sich um eine Weiterentwicklung des von Hoppe [3] vorgestellten. Zur Demonstration der Leistungsfähigkeit des Algorithmus werden hier Kameraaufnahmen (sog. See-through-Aufnahmen) durch ein Virtual-Retinal-Display (VRD) analysiert (vgl. [4]). Ergänzende Einblendungen bzw. ein alternativer Einsatz zur bereits klinisch eingesetzten projektorbasierten Erweiterten Realität [5] sind bereits realisiert und somit ist für die Zukunft eine Evaluierung des Gesamtsystems angestrebt.

2 Methoden

Für die Kalibrierung wird eine FireWire-Kamera der Fa. Basler mit einer Auflösung von 1300 x 1030 Pixeln benutzt. Die AR-Einblendungen werden mit dem

Abb. 1. Microvisions Nomad mit Stryker Rigid-Body für die Navigation.

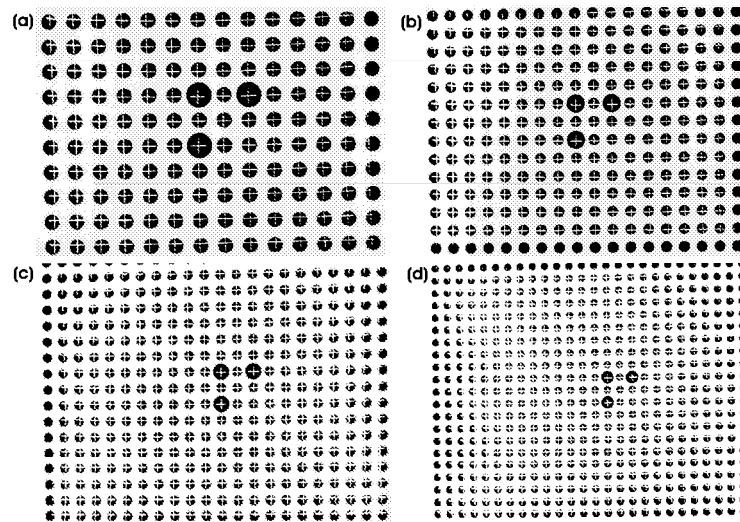


VRD „Nomad“ der Firma Microvision realisiert. Für das Tracking des VRDs kommt ein Navigationssystem von Stryker Leibinger zum Einsatz, wobei ein Rigid-Body auf dem HMD befestigt wurde (siehe Abb. 1). Ein weiterer Rigid-Body wird benötigt, wenn eine Nachverfolgung eines Objektes angestrebt wird. Ein Kalibrier-Muster wird zur Festlegung von Punktkorrespondenzen eingesetzt. Für die Kalibrierung und die Einblendungen wird ein Pentium 4 mit 3 GHz HT-Technologie eingesetzt. Die Visualisierung bzw. das Rendern von dargestellten Objekten findet mit der C++-Bibliothek VTK, OpenGL oder einer Methode statt, die die Linsenverzerrung und weitere Parameter berücksichtigen kann.

3 Ergebnisse

Die Qualität der Kalibrierung von AR-Systemen lässt sich am besten durch Bilder erfassen, die beim Hindurchschauen entstanden sind (See-through-Bilder). Diese sind in den folgenden Abschnitten dargestellt. Der Kalibrier-Algorithmus ist sehr robust und liefert standardmäßig hervorragende Ergebnisse bei den Einblendungen, so dass eine statistische Analyse mehrerer Kalibrierungen nicht zwingend erforderlich ist. Allerdings können anhand der Abweichungen der Einblendungen zu Referenzpunkten statistische Aussagen über mittlere Abweichungen angegeben werden.

Abb. 2. See-through-Aufnahmen durch das VRD in verschiedenen Entfernungen des Referenzmusters (Kreise) und der Einblendungen (Fadenkreuze), (a) 30 cm, (b) 40 cm, (c) 50 cm und (d) 60 cm.



3.1 VTK-Einblendungen in verschiedenen Entfernungen

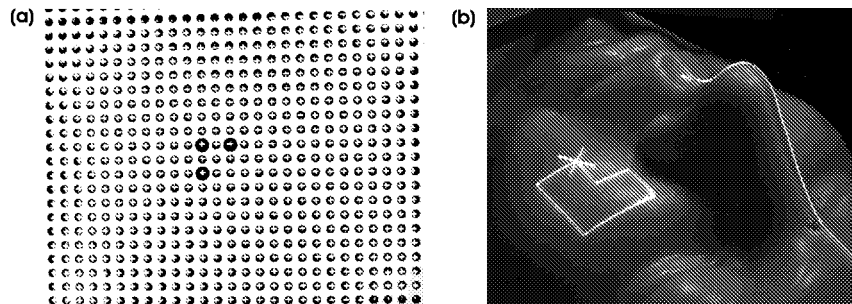
Es wurden vier Kalibrierungen mit jeweils 10 cm Abstand für Entfernungen zwischen 30 cm und 60 cm durchgeführt. Die obere Entfernungsgrenze resultiert aus der typischen Armlänge eines Menschen, die untere aus der minimal möglichen Entfernungseinstellung des VRDs.

In der Abbildung 2 sind VTK-Fadenkreuz-Einblendungen für diese Kalibrierungen in den jeweiligen Entfernungen vor einem Referenzmuster dargestellt. Der gesamte Bildbereich des HMDs wird dabei verwendet, welches den Öffnungswinkeln (FOV) von $23^\circ \times 17^\circ$ entspricht. Die kleinen Kreise dieses Musters haben einen Radius von 3 mm. Die maximalen Abweichungen der Einblendungen liegen in der Größenordnung der Kreisradien. Die durchschnittlichen Abweichungen sind im Bereich von 1 mm. Die statistischen Daten dieser Kalibrierungen sind in Tabelle 3.1 zusammengefasst.

Entfernung [mm]	Mittelwert [mm]	Standardabweichung [mm]
300	0.7	0.5
400	0.8	0.5
500	0.9	0.8
600	1.3	0.9

Tabelle 1. Statistische Auswertung der VTK-Einblendungen des Nomad-HMDs in verschiedenen Entfernungen.

Abb. 3. (a) See-through-Aufnahme in der Entfernung 60 cm mit der Einblendung beruhend auf dem Softwarerendering. (b) Darstellung eines Operationsplanes auf einem Phantomschädel mit der projektorbasierten Erweiterten Realität und dem VRD.



3.2 Berücksichtigung der Linsenverzerrung

Unter Berücksichtigung der Linsenverzerrung kann ein intern aus den Transformationen und weiteren Kalibrier-Parametern berechnetes Bitmap-Bild erstellt werden. Ein solches Bild muss für jede Konstellation neu erzeugt werden, bietet aber eine weitere Reduzierung der Darstellungsfehler. Die Abbildung 3a zeigt dieses exemplarisch an dem See-through-Bild der Kalibrierung für die Entfernung von 60 cm. Hier ist eine verbesserte Übereinstimmung von Einblendungen und Referenzmuster im gesamten Sichtfeld zu erkennen (vgl. Abb. 2d). Einfache Strukturen wie Schnittlinien lassen sich dadurch sehr präzise einblenden.

3.3 Einblendung von Operationsplänen

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, kann die projektorbasierte Erweiterte Realität, die eine durchschnittliche Abweichungen unter einem Millimeter zeigt und klinisch evaluiert wird, zum Vergleich der Güte der Einblendungen benutzt werden. Dafür wurde ein Operationsplan auf einem Phantomschädel sowohl mit der projektorbasierten Erweiterten Realität als auch dem VRD eingeblendet. Die Überlagerung dieser beiden Einblendungen sind in Abbildung 3b visualisiert. Erkennbar ist die sehr gute Übereinstimmung dieser beiden Operationspläne. Abweichungen sind nur an wenigen Stellen sichtbar. Diese Einblendungen wurden bisher nur mit VTK realisiert, sodass eine weitere Reduzierung der Abweichungen möglich ist.

4 Diskussion

AR-Einblendungen mit Abweichungen im Sub-Millimeterbereich sind für viele klinische Anwendungs-Szenarien von großem Interesse. Mit dem hier vorgestellten Kalibrier-Algorithmus ist ein Grundstein für den klinischen Einsatz eines

Virtual-Retinal-Displays mit einer exakten Projektion gelegt. Die durchschnittlichen Abweichungen der Einblendungen sind abhängig von der Entfernung und liegen bei Abständen < 0.5 m durchschnittlich unter 1 mm.

Eine Evaluierung des Algorithmus mit anderen AR-Systemen ist geplant.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Herrn Dr. Moctezuma, Herrn Rohs und Herrn Schwörer der Firma Stryker Leibinger für die Zusammenarbeit und die Unterstützung.

Literaturverzeichnis

1. Schorr O, Brief J, Haag C, Raczowsky J, Haßfeld S, Mühling J, and Wörn H: Operationsplanung in der Kopfchirurgie. Procs BMT 2002, p.939-941
2. Genc Y, Tuceryan M, Navab N: Practical Solutions for Calibration of Optical See-through Devices. Proc ISMAR 2002, p.169-175
3. Hoppe H, Kübler C, Raczowsky J, and Wörn H: Ein neues und leicht zu implementierendes Modell zur präzisen Kalibration von Kameras und Videoprojektoren. Procs BVM 2002, p.229-232
4. Suthau T: Augmented Reality Techniken für den Einsatz in der Leberchirurgie, Seyfert (Hrsg.), Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 12 (2003), p.301
5. Hoppe H, Kübler C, Raczowsky J, Wörn H, and Hassfeld S: A Clinical Prototype System for Projector-Based Augmented Reality: Calibration and Projection Methods. Proc CARS 2002, p. 1079