

Untersuchungen zur Optimierung der See Through Kalibrierung für mobile Augmented Reality Assistenzsysteme

Jens Grubert B.CV., Dipl.-Ing.-Inf. Johannes Tümler, Dr.-Ing. Rüdiger Mecke
Fraunhofer IFF, Virtual Prototyping
Tel. 0391 4090-786, Fax 0391 4090-115
Jens.Grubert@iff.fraunhofer.de

1. Motivation

Augmented Reality (AR) Systeme blenden virtuelle Objekte situationsgerecht in reale Umgebungen ein. Mobile AR-Systeme nutzen zur Anzeige dieser virtuellen Informationen oftmals Optical See Through Head Mounted Displays (OST-HMDs), welche die Bereitstellung solcher Informationen bei gleichzeitig gut wahrnehmbarer Umgebung ermöglichen. Zur lagerichtigen Einblendung der Informationen ist es notwendig, die Position des Anwenders innerhalb seiner Umgebung zu ermitteln. Insbesondere bei OST-HMDs sind dabei die Orientierung und Lage der Erfassungssensorik (z.B. Kamera) relativ zum Auge sowie deren Eigenschaften (u.a. Verzeichnung, Auflösung) mathematisch zu berücksichtigen. Dieses als «See-Through-Kalibrierung» (STK) bezeichnete Verfahren ist notwendig, um virtuelle Informationen lagerichtig an realen Objekten einblenden zu können. Bisherige Verfahren zur Durchführung der STK sind vergleichsweise schwierig zu handhaben und somit nicht praktikabel für einen industriellen Einsatz, speziell wenn eine hohe Überlagerungsgenauigkeit erreicht werden soll.

In der Literatur sind verschiedene Verfahren zur Durchführung der STK für Optical See-Through Systeme beschrieben. Eine Möglichkeit besteht darin, den Nutzer die wesentlichen der Kalibrierparameter (Translation, Rotation, Skalierung) manuell anpassen zu lassen, bis eine gute Überlagerung zustande kommt [MT99] oder die Kamera entsprechend nah am Auge des Anwenders anzubringen und ganz auf eine STK zu verzichten [LRWP05]. Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass nacheinander Punkte der Umgebung mit virtuellen Punkten im HMD in Bezug gesetzt werden [TN00] um so die Kalibrierparameter zu ermitteln. Eine Erweiterung dieses Verfahrens kann darin bestehen, zunächst eine Vorkalibrierung durchzuführen und danach in einem einfacheren Verfahren fehlende Parameter zu ermitteln [OZTX04]. Tang et al. stellen verschiedene dieser Verfahren hinsichtlich Handhabbarkeit und Genauigkeit gegenüber, wobei festgestellt wurde, dass keines der Verfahren bisher optimal ist [TZ003]. Insgesamt werden im Bereich der AR überwiegend Verfahren zur Durchführung der STK eingesetzt, die sich an Tuceryan et al. [TN00] orientieren.

Am Fraunhofer IFF Magdeburg wurde ein Verfahren zur Vereinfachung der Durchführung der STK weiterentwickelt, prototypisch realisiert [TMX07] und in Untersuchungen eingesetzt [ST07, TMS+08]. Dabei wurde für das bisher genutzte Verfahren Potenzial hinsichtlich einer weiteren Verbesserung der Überlagerungsgenauigkeit und der Durchführungsmethodik deutlich. Daher fanden am Fraunhofer IFF Untersuchungen hinsichtlich der Anzahl der benötigten Passpunkte, deren Verteilung im Raum und im HMD sowie zur Durchführungsmethodik statt, mit dem Ziel, eine einfach handhabbare STK mit ausreichender Qualität des Kalibrierergebnisses zu ermöglichen.

2. Untersuchungen zur Anzahl und Anordnung von Passpunkten

Das am Fraunhofer IFF entwickelte Verfahren der STK [TMX07] nutzte einen Kalibrierkörper, auf dem Marker zur Ermittlung von 6 3-D-Raumpunkten angebracht waren. Damit mussten 6 auf dem HMD dargestellte 2-D-Bildpunkte in Deckung gebracht

werden. Die Anordnung der Passpunkte resultierte in akzeptablen Kalibrierergebnissen in der eingestellten Kalibrierentfernung, führte jedoch zu schlechten Ergebnissen in anderen Entfernungen sowie am Rand des virtuellen Bildschirms. Bisher wurde im Bereich der STK nicht untersucht, welche Anzahl von Passpunkten mit welcher Anordnung im Raum zu guten Kalibrierergebnissen führt. Eine Empfehlung beschreibt beispielsweise die Verwendung von 28 Passpunkten sowie die Anordnung in allgemeiner Lage [HZ00]. Insbesondere sind keine Aussagen über eine günstige Entfernung zwischen den Passpunkten im Raum und in der 2-D-Einblendung bekannt.

Daher wurden am Fraunhofer IFF ausgehend vom bestehenden Kalibrierverfahren weitere Anordnungen (Tiefen- und Flächenverteilung) sowie der Einfluss der Passpunktanzahl untersucht. Um die resultierenden Kalibrierergebnisse objektiv bewerten zu können, wurde ein Versuchsaufbau entwickelt, bei dem eine Kamera das menschliche Auge simuliert (Bild 1 links). Hypothesen bezüglich der Anordnungen waren: H1: Je höher die Anzahl der verwendeten Passpunkte ist, desto genauer wird das Kalibrierergebnis. H2: Passpunkte die in unterschiedlichen Tiefen angeordnet sind führen zu einem besseren Kalibrierergebnis als Passpunkte, die um eine Ebene angeordnet sind. H3: Passpunkte, die den gesamten Displaybereich abdecken, resultieren in einem genaueren Kalibrierergebnis, als Passpunkte die nur mittig oder am Rand des OST-HMD angeordnet sind. Die Untersuchungen zeigten, dass H2 und H3 zutreffen, wobei das Kalibrierergebnis im 3-D Schwerpunkt der Passpunkte am genauesten ist. H1 konnte jedoch nicht bestätigt werden, da die Erhöhung der Anzahl der Passpunkte kaum Einfluss auf die Überlagerungsgenauigkeit hatte. Daher wurde ein verbesserter Kalibrierkörper entworfen (Bild 1 mitte), der es ermöglicht, den gesamten Displaybereich abzudecken, wobei Passpunkte in unterschiedlichen Entfernungen angeordnet sind und der 3-D Schwerpunkt der Passpunkte in der Displaymitte liegt.



Abb. 1: Links: Trackingkamera (a), OST-HMD (b) und Augersatzkamera (c). Mitte: Probandin führt Kalibrierung mit verbessertem Kalibrierkörper durch. Rechts: Eckpunktversatz (Pfeile) zwischen realen und virtuellen Rechteck.

3. Analyse zweier Durchführungsmethoden

Bei der heute meist genutzten Mehr-Schritt-Kalibrierung (MSK) verändert der Nutzer seine Position zu einem Passpunkt mehrmals, so dass dieser Passpunkt mit 2-D Einblendungen auf dem Display übereinstimmt [TN00]. Diese Methode führt zu genauen Ergebnissen, wenn die Entfernung zum Passpunkt während der Kalibrierung variiert. Ein Nachteil der MSK ist der hohe Aufwand der Durchführung, der durch die mehrmalige Neupositionierung des Nutzers entsteht. Der in [TMX07] beschriebene und hier weiterentwickelte Ansatz erlaubt es den Nutzern, das AR-System in einem Schritt zu kalibrieren (Ein-Schritt-Kalibrierung, ESK). Bei dieser Methode werden mehrere Passpunkte gleichzeitig mit Einblendungen auf dem OST-HMD in Deckung gebracht. In einer Nutzerstudie mit 12 Probanden (11 männlich, 1 weiblich,) im Alter von 22-29 Jahren (\bar{x} 25,6; \pm 2,0) wurden diese beiden Durchführungsmethoden hinsichtlich der Handhabbarkeit und des auftretenden Kalibrierfehlers untersucht.

Es wurde erwartet, dass die ESK schneller durchzuführen ist als die MSK und dass keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Kalibrierfehlers auftreten. Die Probanden führten beide Kalibriermethoden jeweils zweimal aus, wobei die erste Durchführung als Probedurchgang gewertet wurde. Bei der ESK betrug die Entfernung zwischen Passpunkten und Trackingkamera 105 cm bis 166 cm, bei der MSK 87 cm bis 197 cm. Die Zeit zur Durchführung der ESK betrug im Mittel 73 Sekunden ($\pm 32,4$), für die MSK wurden im Mittel 153 Sekunden ($\pm 20,5$) benötigt.

Anschließend wurde die Qualität der Kalibrierung anhand zweier Tafeln mit Testmarkern in 70 cm und 120 cm Entfernung überprüft. Die Testmarker wurden so angeordnet, dass sie in der Mitte sowie den vier Ecken des OST-HMDs zu sehen waren. Auf den Testmarkern wurden basierend auf den Ergebnissen der ESK und MSK nacheinander je zwei Rechtecke eingeblendet, wobei die Probanden mit Hilfe eines Laserpointers den Versatz zwischen realem Marker und virtueller Einblendung angaben (Bild 1 rechts). Der durchschnittliche Kalibrierfehler ist in Bild 2 aufgeführt. Die ESK wurde als schwieriger durchführbar und mental belastender bewertet ($p < 0,05$, T-Test). Bei der physischen Beanspruchung, dem Arbeitsaufwand und dem verspürten Zeitdruck gab es keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$, T-Test).

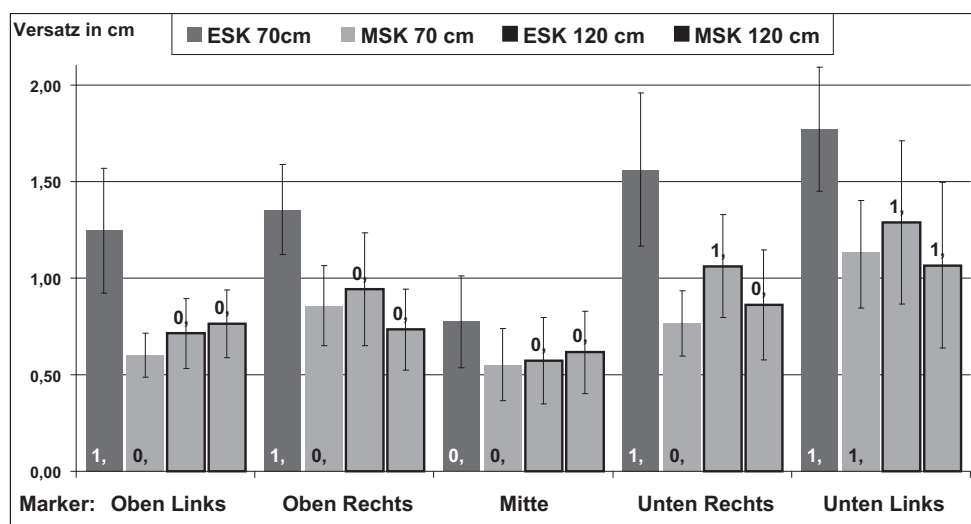


Abb. 2: Durchschnittlicher Kalibrierfehler für Testmarker (siehe auch Bild 1 rechts).

Die Ergebnisse der Studie bestätigten uns, dass die ESK schneller durchführbar als die MSK ist. Wird ein realer Gegenstand in der Mitte des Displays mit virtuellen Informationen überlagert so bietet weder die ESK noch die MSK signifikant genauere Kalibrierergebnisse. Im Randbereich sind die mit der ESK erzielten Ergebnisse bei einer Entfernung von 70 cm bis zu 1 cm ungenauer. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass deren Kalibrierbereich bei 105 cm beginnt, der Kalibrierbereich MSK jedoch schon bei 87 cm. Bei anderen STK Verfahren treten Ungenauigkeiten bis zu 6 cm auf [TZO03].

4. Fazit

Eine vorhandene Methode zur Ein-Schritt-Kalibrierung von OST-HMDs wurde hinsichtlich der erreichbaren Überlagerungsgenauigkeit durch die angepasste Anordnung und Anzahl von Passpunkten verbessert. Sie ist deutlich schneller durchzuführen, als die bis heute übliche MSK. Weitere Arbeiten sind nötig, um insbesondere die Genauigkeit der ESK zu verbessern. Letztere sind für Anwendungen wichtig, die hohe Anforderungen an die Überlagerungsgenauigkeit besitzen.

5. Fördervermerk

Die Arbeiten zur vorgestellten Thematik werden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (Fkz. 01IM08002A) gefördert.

6. Literatur

- [HZ00] Hartley, R. I.; Zisserman, A.: *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press, 2000.
- [LRWP05] Luo, G.; Rensing, N.; Weststrate, E.; Peli, E.: Registration of an on-axis see-through head-mounted display and camera system. In: *Optical Engineering*, Vol-44, Issue 2., SPIE, 2005
- [MT99] McGarrity, E.; Tuceryan, M.: A Method for Calibrating See-Through Head-Mounted Displays for AR. In: *IWAR '99*, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 1999
- [OZTX04] Owen, C.; Zhou, J.; Tang, A.; Xiao, F.: Display-Relative Calibration for Optical See-Through Head-Mounted Displays. In: *ISMAR'04*, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2004
- [ST07] Sauer, S.; Tümler, J.: Ein Assistenzsystem zur Verbesserung von Montageprozessen. In: *Forschung vernetzen - Innovationen beschleunigen*, wissenschaftliches Kolloquium, Fraunhofer IFF Magdeburg, 2007.
- [TMS+08] Tümler, J.; Mecke, R.; Schenk, M.; Huckauf, A.; Doil, F.; Paul, G.; Pfister, E.A.; Böckelmann, I.; Roggentin, A.: Mobile Augmented Reality in Industrial Applications: Approaches for Solution of User-Related Issues. In: *ISMAR'08*, IEEE Press, Cambridge, UK, 2008.
- [TMX07] Tümler, J.; Mecke, R.; Xu, J.: See-Through Kalibrierverfahren für mobile Augmented Reality Assistenzsysteme. In: *Augmented und Virtual Reality in der Produktentstehung*, Bd. 6, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, 2007.
- [TN00] TUCERYAN, M.; NAVAB, N.: Single point alignment method for optical see-through HMD calibration for AR (SPAAM). In: *ISAR2000*, IEEE CS Press, München, 2000.
- [TZO03] Tang, A.; Zhou, J.; Owen, C.: Evaluation of Calibration Procedures for Optical See-Through Head-Mounted Displays. In: *ISMAR'03*, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2003.