

Shared Augmented Reality zur Unterstützung mehrerer Benutzer bei kooperativen Montagearbeiten im verdeckten Bereich

Dennis Meyer, Thomas Steil, Stefan Müller
AG Computergraphik
Universität Koblenz-Landau
56070 Koblenz
Tel.: +49 (0)261 287 2735
E-Mail: {deee|steilt|stefanm}@uni-koblenz.de

Zusammenfassung: Bei Montagearbeiten in einem nicht einsehbaren Arbeitsbereich, die auch kooperativ von mehreren Personen durchgeführt werden können, kommt es häufig zu Problemen. Die schwierigste Problemstellung ist die Tatsache, dass der Monteur praktisch blind arbeiten muss und oftmals auf die rein taktile oder haptische Rückkopplung angewiesen ist. Als besonders problematisch gestalten sich Arbeitsaufgaben, die nur in gemeinsamer Zusammenarbeit von zwei Benutzern durchgeführt werden können.

Wir haben eine Beispielapplikation entwickelt, die einen solchen Montageablauf simuliert und die Benutzer durch Augmented Reality (AR) visuell unterstützt. Der in der Realität verdeckte Arbeitsbereich wird für die Benutzer mittels Augmented Reality sichtbar gemacht. Die durchzuführenden Arbeitsschritte werden ebenfalls in Echtzeit visualisiert und der Benutzer hat die Möglichkeit, dank seiner Propriozeption, die realen Objekte mit den virtuellen in Deckung zu bringen. Anhand einer Beispielapplikation soll untersucht werden, ob diese Art der Benutzerunterstützung den Arbeitsablauf effektiver gestaltet und beschleunigt.

Stichworte: Shared Augmented Reality, Montage, Propriozeption

1 Einleitung

Bei kooperativen Montagearbeiten im verdeckten Bereich, wie sie heute in der Industrie häufig vorkommen, ergibt sich immer das Problem, dass Monteure ihren Arbeitsbereich nicht einsehen können und dadurch bei der Arbeit behindert werden. Viele Arbeitsaufgaben, die ein Gegenhalten, Festhalten, Verschrauben oder ähnliches voraussetzen, erfordern zudem ein gemeinsames Arbeiten mehrere Monteure. In diesem Zusammenhang könnte eine Shared Augmented Reality Application (SARA) diese Personen visuell unterstützen und somit einen effektiveren Arbeitsablauf ermöglichen. Eine Fülle an Anwendungsmöglichkeiten und Einsatzgebieten, sowie die Beschreibung von Hardware-Komponenten wurden durch Azuma, Baillot, Behringer, Feiner, Julier und MacIntyre [AzBaBe2001] beschrieben. Bisher werden Montagearbeiten im verdeckten Bereich blind mit Hilfe von Bauplänen durchgeführt und erfordern viel Routine seitens der Monteure. Wenn ein Arbeitsablauf allerdings nur sporadisch vorkommt, fehlt diese Routine und der Arbeitsablauf wird zusätzlich erschwert und zeitaufwändiger. Ziel dieser Arbeit ist es, durch eine geeignete Beispielapplikation herauszufinden, ob mit Hilfe von AR der Zeitaufwand der angesprochenen Arbeiten minimiert und die vorausgesetzte Routine reduziert werden kann. Zusätzlich soll untersucht werden, ob die Qualität der durchgeführten Arbeitsschritte auf diese Weise optimiert werden kann.

Motivation dieser Arbeit ist die Vermutung, dass die menschliche Propriozeption ausreichend stark ausgeprägt ist, um derartige Arbeitsaufgaben zufrieden stellend durchzuführen.

Eine ideale Unterstützung der Benutzer wäre es, zum einen die eigene Hand, sowie die zu montierenden Objekte in der nicht einsehbaren Arbeitsumgebung zu tracken und in Echtzeit zu visualisieren. Das Tracking von Objekten in kleinen, geschlossenen Räumen und in dynamischen Umgebungen ist allerdings praktisch nicht möglich. Allerdings liegt die Vermutung nahe, dass eine Visualisierung der Zielposition der Bausteine schon eine Hilfe darstellt und dank der menschlichen Propriozeption den Arbeitsablauf unterstützt.

Burns, Razaque, Panter, Whitton, McCallus und Brooks [BuRaPa2005] haben gezeigt, dass in rein virtuellen Umgebungen die virtuell-propriozeptive Wahrnehmung durch die visuelle Bewegungswahrnehmung dominiert wird. Die Vermutung liegt nahe, dass dies auch für Anwendungen in der Augmented Reality der Fall ist.

2 Umsetzung

Um eine Montage im verdeckten Bereich zu simulieren und unser System zu testen, wurde eine exemplarische Arbeitsumgebung in Form einer weißen Box (Abb. 1) (BxHxT: 42cm, 42cm, 62cm) hergestellt. An zwei gegenüberliegenden Seiten befinden sich quadratische Öffnungen, durch die den Benutzern ein Arbeiten innerhalb der verdeckten Arbeitsumgebung ermöglicht wird. In der Arbeitsumgebung befindet sich eine quadratische Bodenplatte, die als Montagefläche dient, auf der verschiedene Bausteine montiert werden sollen. Die Arbeitsumgebung ist von oben nicht einsehbar. Die Monteure tragen jeweils eine teiltransparente Datenbrille (Sony Glasstron) an der eine Kamera für optisches Tracking montiert ist. Auf der Oberseite der Box sind Marker angebracht.



Abbildung 1: Links: Box zum Testen der Beispielapplikation mit Benutzern. Rechts: teiltransparente Datenbrille (Sony Glasstron)

Die Applikation wurde auf Basis des AR Toolkit um die kooperative Komponente durch kollisionsfreie Sockets erweitert, um einen störungsfreien Workflow zu gewährleisten. Mittels optischem Inside-Out Tracking [RoDaBa2001], das in AR Toolkit bereits implementiert ist, wird die Position des Benutzers ermittelt und die entsprechende graphische Darstellung in Echtzeit

generiert und jeweils in der Datenbrille der Benutzer dargestellt. An dieser Stelle muss die geometrische Information aller zu visualisierenden Objekte in entsprechender Form vorliegen. Mit Hilfe der Head Mounted Displays (HMD) mit optischer See-Through Funktion wird die überlagerte graphische Darstellung erreicht. Zu Beginn der Anwendung wird die Kontur der Arbeitsumgebung visualisiert um anschließend Schritt für Schritt die einzubauenden Objekte an der jeweiligen Zielposition darzustellen. Hat ein Monteur einen Arbeitsschritt durchgeführt, so quittiert er dies über einen Tastendruck. Die Darstellung wird daraufhin für beide Benutzer entsprechend angepasst und der nächste Arbeitsschritt dargestellt. Auf diese Weise wird den Benutzern eine entscheidende Zusatzinformation geliefert, die den Eindruck erweckt, der Arbeitsbereich sei einsehbar (Abb. 2). Allerdings erfolgt keine Überprüfung der Korrektheit der durchgeführten Arbeitsschritte durch das System, da dies ein Tracking aller Objekte in der Arbeitsumgebung voraussetzen würde. Das System liefert lediglich eine Vorgabe bzw. eine Montageanleitung, die im Arbeitsbereich visualisiert wird.

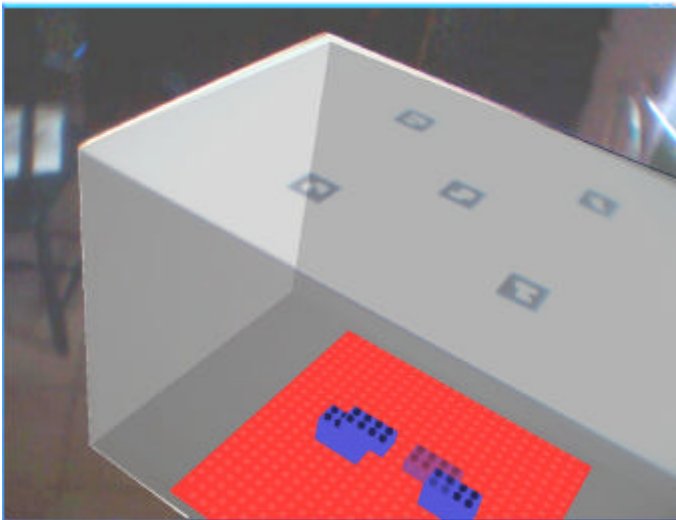


Abbildung 2: Reale Box mit überlagertem Bild und Visualisierung des Arbeitsablaufs

Weiterhin benötigt man einen geeigneten Arbeitsablauf, der einen derartigen Montageprozess simuliert. Wie haben uns für einen Montageprozess entschieden, der nur kooperativ durch zwei Benutzer durchgeführt werden kann. Hier bietet sich das Bauen einer Brücke an (Abb. 3), deren erster Teil abwechselnd separat von jeder Versuchsperson gebaut wird und abschließend einen kooperativen Arbeitsschritt erfordert. Um den letzten Schritt durchführen zu können muss einer der Benutzer seinen Baustein von unten gegen den Baustein des anderen Benutzers halten.

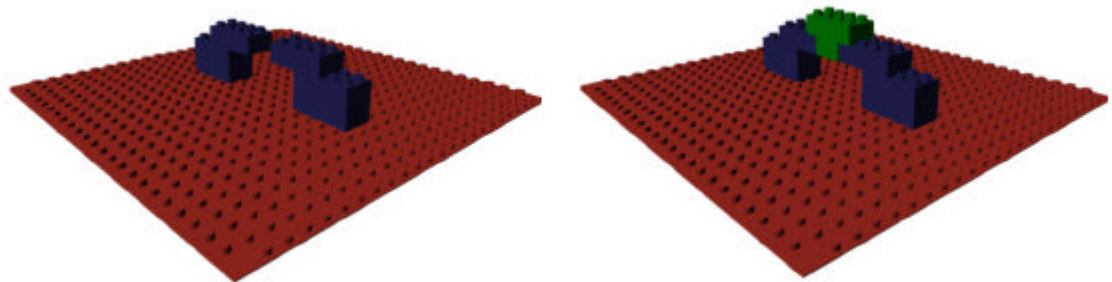


Abbildung 3: Vorletzter und letzter Arbeitsschritt des kooperativen Brückenbaus

Es hat sich gezeigt, dass durch eine transparente Darstellung den nächsten auszuführenden Arbeitsschritt angemessen deutlich macht und ein intuitives Arbeiten ermöglicht. Im laufenden Prozess werden die platzierten Bausteine nicht getrackt, sondern an der für sie vorgesehenen Stelle graphisch dargestellt. Eine Kontrolle der korrekten Platzierung ist nur in der realen Umgebung möglich.

3 Evaluation

Motivation der Arbeit war die Frage, ob die Propriozeption des Menschen ausreichend ist, um in einer solchen Arbeitsumgebung Arbeiten präziser und in einem angemessenen Zeitraum durchzuführen und ob die Anwendung sichtbare Vorteile gegenüber herkömmlichen Anwendungsverfahren bringt, bei denen der Benutzer lediglich Unterstützung durch einen Bauplan (Abb. 3) erhält. Zur Klärung dieser Frage wurden verschiedene Testverfahren angewendet. Die Ergebnisse wurden jeweils mit den Testergebnissen bei Verwendung eines herkömmlichen Bauplans verglichen.

Bei der Erstanwendung soll der Benutzer, ohne jemals die Anwendung benutzt zu haben, eine Aufgabenstellung bearbeiten. Er erhält dazu eine einführende Erklärung über die Funktionsweise der Anwendung, sowie Hinweise darüber, was es bei der Benutzung zu beachten gilt, sowie Unterstützung bei der Kalibrierung der SARA. Es wurden 32 Testdurchläufe mit verschiedenen Probanden durchgeführt. Jeweils zwei Probanden benutzten zuerst den Bauplan, anschließend SARA und umgekehrt. Die Probandenpaare blieben bestehen. Bei den Probanden handelte es sich überwiegend um technisch versierte Benutzer, die im Umgang mit Computern und Multimedia-Geräten Erfahrung haben.

Untersucht wurden die Qualität der durchgeführten Arbeitsaufgaben sowie die benötigte Zeit gemessen. Die Qualität der Platzierung wird durch Fehlerpunkte ermittelt. Die Fehlerpunkte berechnen sich aus der Abweichung der platzierten Bausteine von der vorgegebenen Zielposition. Eine Fehlplatzierung um eine Position in horizontaler bzw. vertikaler Richtung wird mit jeweils einem Fehlerpunkt bewertet. Eine diagonale Verschiebung wird mit 1,5 Fehlerpunkten bewertet.

Um den Lernverlauf der Anwendung zu untersuchen, wurde überprüft wie sich die Zeit und die Qualität der Arbeit bei Mehrfachanwendung entwickeln.

3.2 Ergebnisse

Die ersten Ergebnisse unserer Tests weisen daraufhin, dass die Unterstützung von Montagen im verdeckten Bereich durch AR hilfreich sein kann. Es konnte zwar keine Verbesserung der Arbeitsqualität erreicht werden (Abb. 4), jedoch ist ein deutlicher zeitlicher Vorteil zu erkennen (Abb. 5). Bei einer häufigen Anwendung der AR Unterstützung zeigte sich eine sichtliche Verbesserung im Bezug auf die Qualität und die Geschwindigkeit (Abb. 6 und Abb. 7). Diese sollte allerdings nicht zu hoch bewertet werden, da immer die gleichen Montagearbeiten durchgeführt wurden.

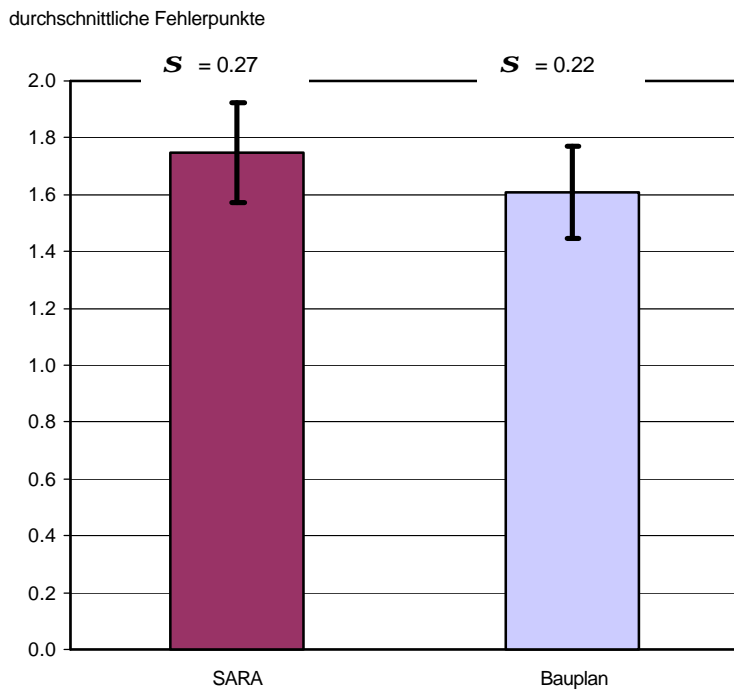


Abbildung 4: Durchschnittliche Fehlerpunkte aller 32 Erstanwender

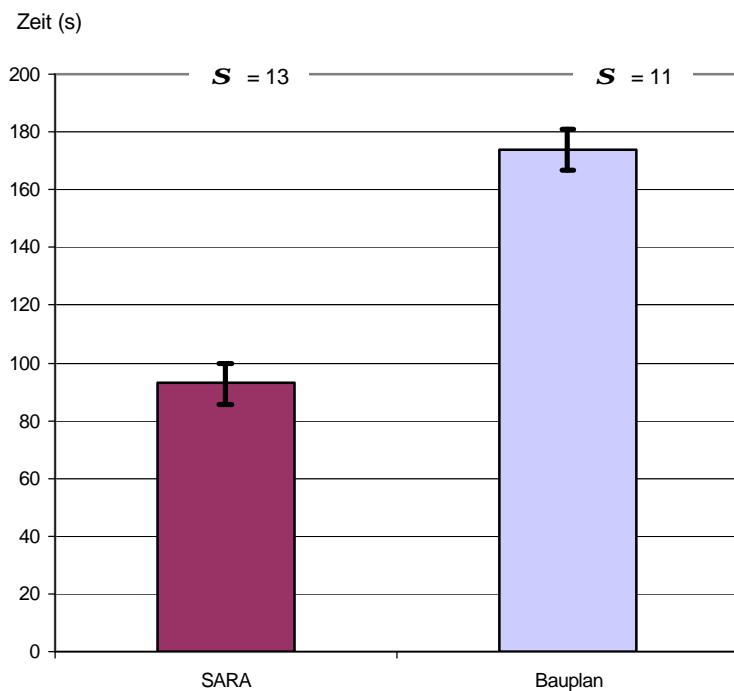


Abbildung 5: Durchschnittliche Arbeitszeit aller 32 Erstanwender in Sekunden

Die durchschnittliche Anzahl an Fehlerpunkten liegt bei Verwendung der SARA bei 1,75 und bei der Verwendung eines herkömmlichen Bauplans bei 1,607 Fehlerpunkten. Die Standardabweichung beträgt bei SARA 0,27 Fehlerpunkte. Ein zeitlicher Unterschied zwischen

den beiden Anwendungen ist deutlich zu erkennen. Bei Verwendung der SARA liegt die durchschnittliche Arbeitsdauer bei 93 Sekunden, bei Verwendung des Bauplans bei 174 Sekunden. Die Standardabweichung liegt bei dieser Messreihe unter Verwendung der SARA bei 13 Sekunden. Die längeren Arbeitszeiten bei der Verwendung eines Bauplanes lassen sich darauf zurückführen, dass die Platzierung der Bausteine nur durch Abzählen der Fixierpunkte auf der Bodenplatte, die ein zuverlässiges Maß für die Position der Bausteine darstellt, möglich war. In der industriellen Praxis ist ein solches Vorgehen selten möglich. Allerdings traten auch hier Fehler bei der Platzierung auf.

Die Ergebnisse aus Abb. 6 und Abb. 7 beziehen sich auf die Anwendung der SARA.

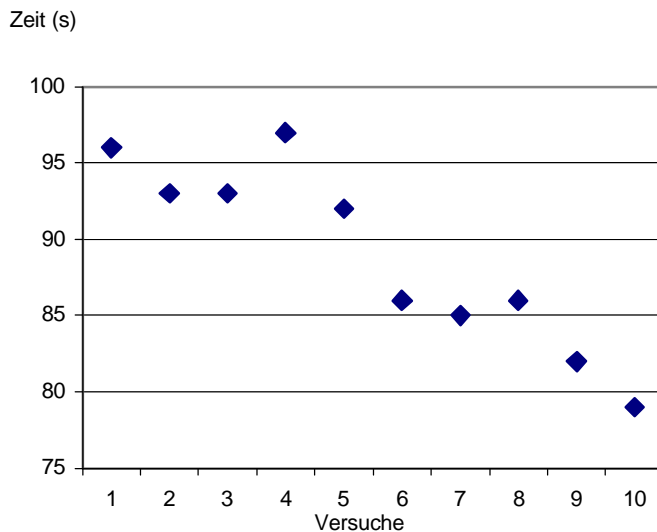


Abbildung 6: Zeitliche Verbesserung bei zehn Anwendungen

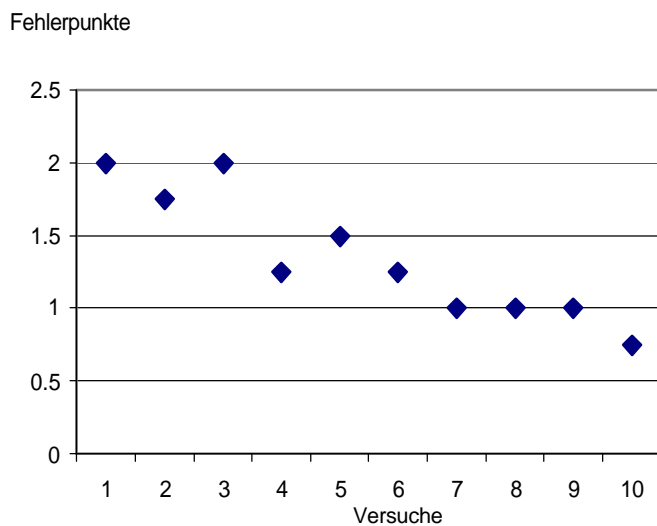


Abbildung 7: Qualitative Verbesserung der Durchführung

Nach mehrfacher Anwendung dieser SARA konnte man eine Reduzierung der Fehlerpunkte sowie eine zeitliche Verbesserung bei den Anwendungen feststellen. Im Gegensatz zu der Verwendung von Bauplänen ist vermutlich ein Teil des Lerneffekts der AR Unterstützung auf andere Montageanwendungen übertragbar, da die grundlegende Bedienung des Systems bei jeder Art von Montage gleich ist.

4 Fazit und Ausblick

Die ersten Ergebnisse der Untersuchung lassen vermuten, dass die Verwendung von Augmented Reality bei der Montage im verdeckten Bereich eine Hilfe sein kann und die Benutzer bei der Ausführung ihrer Tätigkeiten unterstützt. In qualitativer Hinsicht wurde durch unsere Applikation keine Verbesserung erreicht, was vermutlich darin begründet liegt, dass nur Mono-HMDs verwendet wurden, die keine korrekte Tiefenwahrnehmung ermöglichten. Die Tiefenwahrnehmung konnte lediglich durch eine Bewegung des Kopfes erreicht werden. Durch Verwendung eines HMD mit stereo-Funktion kann diesem Problem Abhilfe geschaffen werden und es wären weitere Verbesserungen der Testergebnisse zu erwarten. Die Ergebnisse sind jedoch mit 1,75 zu 1,607 Fehlerpunkten nur minimal schlechter als bei der Verwendung eines Bauplans. Die benötigte Zeit war bei der Verwendung von AR hingegen deutlich kürzer als bei der Verwendung eines Bauplans (Abb. 5).

Die bisherigen Ergebnisse sind bereits vielversprechend, bieten jedoch noch viel Raum für Verbesserungen. Die größte Verbesserung wird vermutlich durch die Verwendung einer Stereo See-Through Brille erreicht werden, da sie die Möglichkeit der korrekten Tiefenwahrnehmung bietet. Die verwendeten Sony Glasstron Brillen waren auch nur schlecht zu befestigen und verrutschten leicht, was zu Registrierungsproblemen führte. Das Tracking und die Framerate ließen sich noch durch die Verwendung einer höher und schneller auflösenden Kamera verbessern, da sie in unserem Fall einen limitierenden Faktor darstellen. Allerdings erwiesen sich die von uns erreichten 15 Frames pro Sekunde als ausreichend um einen Montageablauf zu unterstützen. Weiteres Verbesserungspotential findet sich bei der Kalibrierung. Bei einigen Probanden war aufgefallen, dass sie den ersten Baustein zu Beginn leicht fehlerhaft platzierten, die Anordnung der Steine zueinander aber korrekt war. Eine Kalibrierung mittels eines intuitiven Eingabegeräts würde den Arbeitsablauf zu Beginn stark vereinfachen, da die Probanden dann vermutlich schneller die Geometrie und Realität in Deckung bringen könnten. Zaun [Zau03] hat gezeigt, wie eine Kalibrierung in Augmented Reality effektiv durchgeführt werden kann.

5 Literatur

- [AzBaBe2001] Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., MacIntyre, B.: Recent Advances in Augmented Reality, IEEE Computer Graphics and Applications, November/Dezember 2001, S. 34-47, 2001
- [BuRaPa2005] Burns, E., Razaque, S., Panter, A., Whitton, M., McCallus, M., Brooks, F.: The Hand is Slower than the Eye: A quantitative exploration of visual dominance over proprioception. IEEE Virtual Reality 2005, S. 3-10, Bonn, 2005

- [Zau03] Zaun, B.: Calibration of Virtual Cameras for Augmented Reality, Diplomarbeit, Technische Universität München, Fakultät für Informatik, München, 2003
- [RoDaBa2001] Rolland, J., Davis, L., Baillet, Y.: A Survey of Tracking Technologies for Virtual Environments in Fundamentals of wearable Computers and Augmented Reality. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey, 2001