

Augmented Reality Technologien und Applikationen

Seminar *“Smarte Objekte und smarte Umgebungen”*

Betreuung: Marc Langheinrich

Daniel Rauch
darauch@student.ethz.ch

10. Mai 2005

Abstract

Im Gegensatz zum Forschungsgebiet der virtuellen Realität befindet sich die Entwicklung von Augmented Reality Systemen noch in einem sehr frühen Stadium. Im Rahmen dieser Arbeit soll ein wesentlicher Grund dafür aufgezeigt werden. Es wird auch erläutert, weshalb viele Anwendungsszenarien erst dann von Augmented Reality Systemen profitieren können, wenn diese grundsätzlichen Probleme gelöst sind.

Um das Forschungsgebiet gegenüber anderen Bereichen abzugrenzen, braucht es eine klare Definition des Begriffs „Augmented Reality“. Erklärungsbedürftig ist aber auch der Begriff der „Augmentation“. Worin besteht denn die Erweiterung unserer Realität? Anhand von 2 Beispielen soll illustriert werden, bei welchen Anwendungsszenarien solche Systeme eingesetzt werden könnten, um dem Benutzer einen zusätzlichen Nutzen zu erbringen. Es werden aber auch Antworten gegeben auf Fragen, wie „Wo liegen denn ganz grundsätzlich die möglichen Anwendungsgebiete dieser Technologie?“

Beim Design solcher Systeme gibt es einige Überlegungen bezüglich der Wahl der einzusetzenden Technologien. Wo liegen die Vorteile beziehungsweise die Nachteile bei den eingesetzten Technologien? Diese Arbeit soll auch Antworten liefern auf Fragen der Art „Weshalb haben sich solche Augmented Reality Systeme bisher im breiten Einsatz nicht etabliert und beschränken sich immer noch auf Forschungslabors von Universitäten und grösseren Unternehmen?“

1. Einleitung

Augmented Reality ist ein relativ neues Forschungsgebiet, auf dem seit etwa 1993 an vielen verschiedenen Projekten geforscht wird. Zwar gab es Ende der 60er Jahre des letzten Jahrhunderts bereits erste Arbeiten [1], die eine halbdurchlässige Brille verwendeten, um 3D-Grafiken darzustellen. Diese Ansätze können aber noch nicht als umfassendes Forschungsgebiet betrachtet werden. Aufgrund der vielen Herausforderungen und den zahlreichen noch unerforschten Richtungen wird auf dem Gebiet mit höchster Wahrscheinlichkeit auch in den kommenden Jahren oder gar Jahrzehnten noch aktive Forschung betrieben. Das Potential dieser Systeme scheint bei weitem noch nicht ausgeschöpft zu sein. Erreicht man in näherer Zukunft einen Durchbruch im Bereich des „Outdoor-Tracking“, das heisst wird es möglich sein diese Systeme auch draussen mit der geforderten Genauigkeit einsetzen zu können, so werden plötzlich viele neue und interessante Anwendungen realisierbar sein. So könnte beispielsweise ein Tourist oder auch ein Wanderer mit allen für ihn notwendigen Informationen in Echtzeit während seinem Ausflug versorgt werden. Er müsste lediglich eine Brille oder ein ähnliches System mit sich führen, das laufend seine genaue Position berechnet und ihm so die relevanten Informationen einblendet.

1.1 Definition

Augmented Reality (AR) ermöglicht die Erweiterung der realen Welt durch virtuelle, computergenerierte Objekte, so dass beim Benutzer eines solchen Systems der Anschein einer Koexistenz dieser beider Welten geweckt wird. Die reale Welt wird also nicht vollständig ersetzt, wie dies bei „Virtual Reality“ der Fall ist, sondern nur ergänzt.

Paul Milgram [2] definierte 1994 ein Kontinuum (Abb. 1), welches einen Bereich aufspannt, der von der realen Umgebung bis zur vollständig virtuellen Umgebung reicht. Damit lassen sich Technologien, bei denen reale und virtuelle Welten miteinander vermischt werden, in ein gewisses Schema einteilen. Die Übergangphase zwischen Realität einerseits und virtueller Umgebung andererseits, bezeichnete er als „Mixed Reality“. Bewegt man sich auf dieser Geraden von links nach rechts, bedeutet dies eine Zunahme der Virtualität beziehungsweise ein Abnahme der Realität. AR befindet sich in diesem Schema leicht rechts der realen Umgebung, aber immer noch innerhalb der linken Hälfte des Spektrums. Schliesslich wird ja auch die reale Welt als Basis genommen und durch einige, meist nur wenige virtuelle Objekte überlagert.



(Abb. 1, Reality-Virtuality Continuum)

Gemäss Ronald T. Azuma [3], dem Programmvorsteher des internationalen AR Symposiums, der seit Beginn an auf diesem Forschungsgebiet tätig ist, gibt es 3 Charakteristiken, die ein solches AR-System auszeichnen:

- 1. Die Vereinigung der Realität mit virtuellen Objekten in einer realen 3-D Umgebung.**
- 2. Das System läuft interaktiv und in Echtzeit.**
- 3. Die virtuellen Objekte werden an der realen 3-dimensionalen Welt ausgerichtet.**

1.2 Der Begriff „Augmentation“

Die Realität soll also gemäss dem Begriff der „Augmented Reality“ erhöht werden. Konkret kann dies einerseits bedeuten, dass die reale Umgebung durch das Hinzufügen von virtuellen Objekten erweitert wird. Andererseits könnte man sich aber auch vorstellen reale Objekte durch Überlagerung von künstlichen Objekten teilweise zu verdecken oder auch ganz zu entfernen. In der Forschung wird dies auch als „mediated“ oder „diminished reality“ bezeichnet [3].

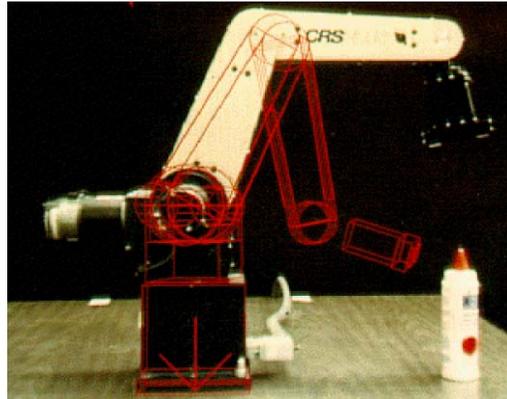
AR soll helfen die Benutzerinteraktion mit der realen Umgebung zu erleichtern. Es ist also ein spezifisches Beispiel dessen, was Brooks [4] „Intelligence Amplification“ (IA) nannte, nämlich den Computer als Werkzeug einzusetzen, um die Ausführung einer Aufgabe für den Menschen zu erleichtern.

AR hat die Möglichkeit Informationen, welche durch menschliche Sinne nicht direkt wahrnehmbar sind, so aufzubereiten, dass sie schliesslich auch vom Menschen festzustellen sind.

Dies bedeutet, dass die Ausgabe eines AR-Systems zwar auf die 4 menschlichen Sinne (Sehen, Hören, Fühlen und Riechen) begrenzt ist. Der Input kann aber weit vielfältiger sein, nämlich alles, was von Sensoren überhaupt detektiert werden kann. Dies umfasst also auch Ultraschall-, Infrarot- sowie Ultraviolettfrquenzen.

Es gibt einige Gründe dafür, weshalb AR keine triviale Aufgabe darstellt. Wesentlich dabei ist, dass das System zuerst erkennen muss welche Information dem Benutzer angeboten werden soll. Diese Information sollte also möglichst kontextbasiert sein. Je nach Situation und Ort, an dem sich der Benutzer befindet, ist jener möglicherweise auch an unterschiedlichen Informationen interessiert. Hinzu kommt die Wahl einer angemessenen Darstellung dieser Daten. Wichtig ist auch, dass der Benutzer in geeigneter Weise mit dem System interagieren kann. Dies ist ein entscheidender Punkt bei der Wahl des Userinterfaces.

1.3 Beispiel 1: „Robot Path Planing“ [5]



(Abb. 2, virtueller Roboterarm)

Der Schwachpunkt bei der Steuerung eines Roboters ist meistens die Kommunikationsverbindung zwischen der Steuerungseinheit und dem Roboter selbst. Ist der Roboter physisch eine gewisse Distanz von der Bedienungseinheit entfernt, entstehen oft kleine Verzögerungen, die meist eine präzise Steuerung des Roboterarms verhindern. Dies kann zu Fehlmanipulationen am entsprechenden Bauteil führen.

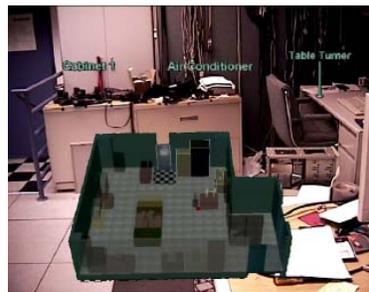
Mit Hilfe eines passenden AR-Systems lässt sich nun eine virtuelle Version des Roboters steuern (Abb.2). Der Benutzer kann also alle Bewegungen genau und in Echtzeit am virtuellen Gegenstück des Roboters planen. Sobald der Plan getestet und festgelegt wurde, muss der echte Roboter nur noch die im Plan spezifizierten Aktionen ausführen.

Denkbar wäre auch eine virtuelle Überlagerung des zu bearbeitenden Bauteils, an dem gleich die Auswirkungen der geplanten Manipulationen virtuell angezeigt werden könnten.

1.4 Beispiel 2: „Annotated Situation-Awareness Aid“ [6]



(Abb. 3)



(Abb. 4)



(Abb. 5)

Dieses AR-System basiert auf einer „world in miniature“ (WIM) [7]. Das ist ein kleines Modell der Umgebung, welches direkt in die Sicht des Benutzers eingebettet ist. Es können Objektbezeichner sowie auch zusätzliche Informationen zu den einzelnen Objekten eingeblendet werden. Die Position, der Massstab sowie die Lage der WIM werden nur durch die Neigung des Kopfes gesteuert. Die Grösse sowie die Ausrichtung des verkleinerten Raumes sind also abhängig allein vom Neigungswinkel des Kopfes. Neigt der Benutzer seinen Kopf nach unten, das heisst er schaut auf den Boden, so vergrössert sich das virtuelle Modell. Bei grösser werdender WIM verschwinden die Beschriftungen in der realen Umgebung und werden dafür an entsprechender Stelle in der WIM eingeblendet.

Dieses System bietet den grossen Vorteil, dass der Benutzer beide Hände frei hat, um in der realen Umgebung verschiedenste Aufgaben ausführen zu können und dabei immer einen Umgebungsplan vor Augen hat.

In *Abbildung 3* schaut der Benutzer leicht nach oben. Die WIM ist am unteren Rand seiner Ansicht nur ganz klein vorhanden. In *Abbildung 4* schaut der Benutzer leicht nach unten, und die WIM vergrössert sich.

Abbildung 5 zeigt die Sicht eines Benutzers, der seinen Kopf um fast 90° nach unten neigt. Dadurch füllt die WIM sein ganzes Blickfeld aus. Das System bietet also einen 3-dimensionalen Umgebungsplan, der sich dynamisch an die Position des Benutzers anpasst.

1.5 Weitere Anwendungsgebiete

Es gibt viele mögliche Anwendungsgebiete für AR-Systeme [3]. Diese sind bisher aber eigentlich immer auf speziell ausgerüstete Umgebungen angewiesen. Dies ist deshalb so, weil eine genaue Lokalisation des Benutzers bis dato nur möglich war, indem spezielle Marker im Raum platziert wurden, mit deren Hilfe das Tracking überhaupt ermöglicht werden konnte. Deshalb sind heute im Einsatz stehende AR-Anwendungen erstens meist professioneller Art, und zweitens an bestimmte vorbereitete Räume gebunden.

A. Medizinische Visualisierung

Im Bereich der Chirurgie können 3-D Datenmengen eines Patienten, also beispielsweise CT- oder Ultraschall-Bilder, direkt am Patienten visualisiert werden. Dies ermöglicht dem operierenden Chirurg eine ungehinderte Sicht in das Innere seines Patienten. Der Chirurg muss dabei seinen Blick nicht mehr vom Patienten abwenden, um beispielsweise an einem Gerät etwas abzulesen. Mit Hilfe solcher Systeme könnten in Zukunft auch angehende Chirurgen trainiert werden. Bei allen Anwendungen im medizinischen Bereich wird aber eine sehr hohe Genauigkeit vorausgesetzt. Wird diese Genauigkeit vom System nicht erreicht, macht der Einsatz auch keinen Sinn.

B. Herstellung und Unterhalt von komplexen Systemen

Mit einem angepassten AR-System können dem Mechaniker (z.B. bei der Flugzeugwartung), direkt an dem zu wartenden System, 3-D Pläne eingeblendet werden, ohne dass dieser zuerst zahlreiche Handbücher durchblättern muss. Es ist sogar möglich ganze Arbeitsabläufe mit Hilfe von überlagerten und animierten 3-D Zeichnungen zu simulieren. Dies trägt dazu bei, Arbeiten an komplexen Systemen erheblich zu vereinfachen. Zudem kann viel physischer Platz gespart werden, indem man diese grossen Datenmengen in elektronischer Form speichert und nicht mehr in Form von herkömmlichen Handbüchern archivieren muss.

C. Anmerkungen und Visualisierungen anbringen

Es können Objekte oder auch ganze Umgebungen mit öffentlichen oder privaten virtuellen Informationen versehen werden. Diese Informationen werden dem Benutzer, je nach Situation und Berechtigung, auf seinem Display, an der korrekten Position eingeblendet. So kann sich zum Beispiel ein Besucher einer Bibliothek, der einen AR-tauglichen PDA mit sich führt, aktuelle Informationen über die Buchbestände einblenden lassen, währenddem er sich durch die Regale bewegt.

D. Entertainment [8]

Der Einsatz von AR ist auch bei Fernsehübertragungen von Sportereignissen denkbar. Dabei können zusätzliche Informationen für die Zuschauer in Echtzeit und direkt am betreffenden Objekt (z.B. am Fussballer oder am Rennwagen) angezeigt werden. Es können aber auch virtuelle Werbeplakate an bestimmten Stellen eingeblendet werden. Bei Fussballspielen könnten die Abseitslinie oder auch der Torabstand eines einzelnen Spielers in Echtzeit eingeblendet werden. Bei der Eishockeyübertragung wäre eine Hervorhebung des Pucks, der meistens sehr schlecht sichtbar ist, eine nützliche Verbesserung der Realität.

E. Militärische Anwendungen

Flugzeugsysteme können dem Piloten eines militärischen Kampffjets oder Hubschraubers schon heute Navigationsinformationen oder auch Informationen über den Zustand des Fluggerätes über sein Helmdisplay anzeigen. Zusätzlich wäre aber auch die Avisierung eines feindlichen Zieles und damit die Steuerung der Waffensysteme durch Interaktion des Piloten (z.B. durch einfaches drehen des Kopfes in Richtung des Gegners) ein denkbare Szenario.

2. Design eines AR-Systems

2.1 Display Typen

In AR-Systemen werden Displays folgender Kategorien verwendet [8]:

1. Head-Mounted-Displays (HMDs)

Beim HMD handelt es sich um den eigentlichen Urtyp eines Anzeigegerätes, das für Augmented Reality verwendet wurde und auch heute noch verwendet wird. Das Display wird am Kopf des Benutzers montiert, so dass dieser die Anzeige direkt in seinem Blickfeld hat. In den Anfängen waren das sehr grosse und schwere Displays, die an einem Helm befestigt wurden. Heute können bereits gewöhnliche Brillen verwendet werden, die ein kleines quadratisches Element enthalten, auf welchem das Bild erzeugt wird. (Abb. 6)

Nebst den Brillen, die auf LCD-Technologie basieren, gibt es auch die Möglichkeit das Bild mit Hilfe von speziell schwachen Lasern direkt

in die Retina des Auges zu projizieren. Mit dieser Technologie lassen sich auch ein höherer Kontrast und eine höhere Helligkeit sowie ein breiteres Sichtfeld realisieren.



(Abb. 6, Display-Brille von Minolta)

2. Handheld Displays

Flache LCD-basierte Anzeigen in Form eines PDAs oder heute auch in Form eines Mobilfunktelefons lassen sich einfach in der Hand halten und müssen nicht erst am Kopf montiert werden. Diese Geräte besitzen eine integrierte Kamera, mit der die reale Umgebung aufgenommen wird.



(Abb. 7, PDA mit externer Kamera)

3. Projektionsdisplays

Ein Projektionsdisplay projiziert die gewünschte virtuelle Information direkt auf die physischen Objekte in der realen Umgebung. Dies setzt aber voraus, dass die Objekte mit einer speziellen Oberfläche beschichtet sind, die das Licht des Projektors reflektiert. Dabei kann ein einzelner fix im Raum installierter Projektor verwendet werden oder jeder Benutzer trägt seinen eigenen, am Helm befestigten Projektor mit sich herum. Dadurch dass die projizierten Bilder nur entlang der Projektionslinie sichtbar sind, können mehrere Benutzer, die mit einem eigenen Projektor ausgestattet sind, auch verschiedene Bilder auf demselben realen Objekt sehen.



(Abb. 8, Projektionsdisplay)

2.2 Optische oder Video-Technologie

Eine wesentliche Entscheidung beim Design von AR-Systemen ist die Wahl der zu verwendenden Technologie. Das Zusammenführen der Realität mit der virtuellen Überlagerung kann auf 2 ganz unterschiedliche Arten erfolgen. Ausschlaggebend bei dieser Wahl ist vor allem das Anwendungsgebiet, in dem das AR-System eingesetzt werden soll. Grundsätzlich besteht ein solches System aus 3 verschiedenen Komponenten mit 3 unterschiedlichen Funktionen:

1. Tracking System:

Bestimmt die Position des Benutzers sowie die Ausrichtung seines Kopfes. Setzt sich der Benutzer in Bewegung oder dreht/neigt diesen seinen Kopf, muss dies vom Tracker registriert werden.

2. Scene Generator:

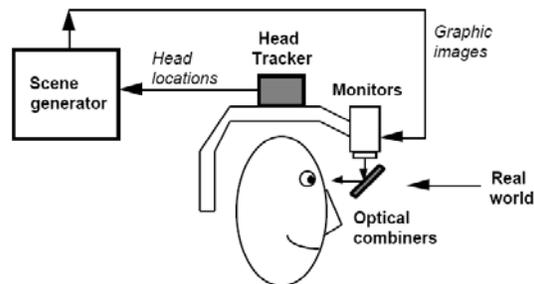
Diese Komponente erzeugt aufgrund der Informationen des Tracking Systems die virtuellen Objekte. Der Scene Generator ist das eigentliche Hirn des Systems. Hier werden sämtliche Berechnungen bezüglich Lage, Grösse, Helligkeit und Kontrast der grafischen Bilder durchgeführt.

3. Anzeigegerät:

Der Monitor ist zuständig für die Darstellung der virtuellen Objekte, die der realen Umgebung überlagert werden. Dieses Anzeigegerät beschränkt also auch die Auflösung der virtuellen Welt.

Es gibt 2 verschiedene Technologien, die bei AR-Systemen eingesetzt werden.

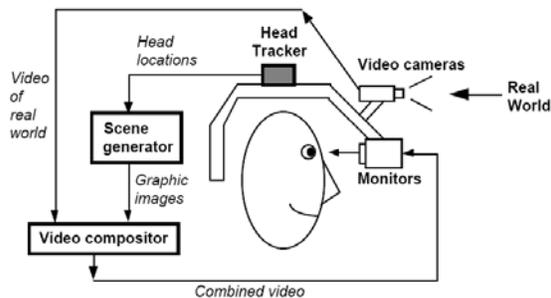
A. Optische Technologie:



(Abb. 9, optisches HMD)

Hier am Beispiel eines optischen „see-through“ HMDs (Abb. 9). Der Benutzer trägt eine halbdurchlässige Brille, durch die er einerseits die reale Umgebung sehen kann, und zwar so wie sie gerade ist, und andererseits werden ihm die virtuellen Grafiken auf die speziell beschichteten Brillengläser projiziert. Dieses System bietet den grossen Vorteil, dass der Benutzer auch bei einem Stromunterbruch die reale Umgebung noch wahrnehmen kann. Zudem wird die Auflösung nicht vermindert, da das Auge die reale Umgebung direkt sieht, und zwar in seiner vollen Auflösung.

B. Video-Technologie:



(Abb. 10, Video-HMD)

Abbildung 10 zeigt ein „video-see-through“ HMD. Hier trägt der Benutzer eine Kamera (beziehungsweise 2 Kameras für 3-D Bilder) auf seinem Helm und eine nichtdurchlässige Brille. Bei diesem System kommt zusätzlich ein „Video compositor“ zum Einsatz, der den Videostream

der realen Welt sowie die erzeugten virtuellen Objekte korrekt miteinander verbindet und zu einem Videostream kombiniert. Letzterer wird dann dem Benutzer in seiner geschlossenen Brille angezeigt. Gibt es Verzögerungen bei der Erzeugung der virtuellen Grafiken, so kann der Videostream der realen Umgebung einfach entsprechend verzögert werden, so dass die Überlagerung zeitlich wieder zusammenpasst. Der grosse Bereich an Helligkeitsstufen in der Realität kann mit dieser Technologie gut mit den Helligkeitsstufen der virtuellen Objekte in Einklang gebracht werden. Dafür entsteht ein „Offset“ zwischen den Videokameras und den Augen des Benutzers. Die Kameras zeichnen ein leicht verschobenes Bild auf gegenüber dem, was der Benutzer wahrnimmt. Diese Verschiebung kann durch Bearbeitung des Videostreams zwar reduziert werden, ist aber sehr rechenintensiv.

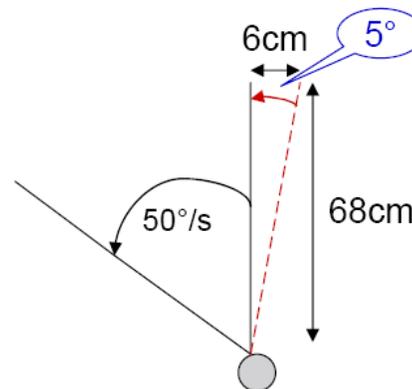
3. Registration Problem

Vergleicht man AR mit Virtual Reality (VR) stellt man fest, dass in einigen Bereichen die Anforderungen an das AR-System erheblich niedriger sind als an ein VR-System. So wird zum Beispiel bei VR-Systemen die reale Welt vollständig *ersetzt*, während bei AR die reale Welt lediglich *ergänzt* wird. Nur in wenigen Anwendungen von AR werden photorealistische Objekte benötigt. Meistens reichen kleine Texte oder 3-dimensionale Gitterstrukturen. Bei VR-Anwendungen ist die photorealistische Darstellung der Umgebung im Laufe der letzten Dekade zum Standard geworden. Dennoch gibt es einen Bereich, der in VR-Systemen kaum eine grosse Rolle spielt, in AR aber von entscheidender Bedeutung ist. Ein genaues Tracking, das heisst eine möglichst exakte Bestimmung der Position des Benutzers in Echtzeit, ist absolut zwingend für ein brauchbares AR-System. Das bedeutet nun, dass beispielsweise eine Anwendung im medizinischen Bereich kaum einsetzbar ist, wenn die Registrierung nicht von sehr hoher Genauigkeit ist.

Unter dem Begriff der „AR-Registration“ [3] versteht man die korrekte gegenseitige Ausrichtung der virtuellen mit den realen Objekten, so dass beim Benutzer der Eindruck einer perfekten Koexistenz dieser beiden Welten entsteht. Der kleinste Fehler in der Ausrichtung wird durch die hohe Auflösung des menschlichen Auges sofort erkannt.

Da AR ein interaktives Medium darstellt, muss das System auf Bewegungen des Benutzers innert kürzester Zeit reagieren. Kommt es dabei aber zu Verzögerungen im System, so entstehen *dynamische Fehler*. Gerade die dynamischen Fehler sind aber die Hauptverantwortlichen für das Ausrichtungsproblem.

Man kann davon ausgehen, dass bei heutigen Systemen ein typischer „end-to-end-delay“ im System von ungefähr 100ms entsteht [3]. Es dauert also etwa 100ms vom Zeitpunkt, an dem das Tracking-System den Ort des Benutzers bestimmt bis zu dem Zeitpunkt, an dem das Display die vorberechnete Überlagerung darstellt. Bewegt ein Benutzer nun seinen Kopf mit $50^\circ/\text{s}$, so befindet sich dieser bereits um 5° weiter als das gerenderte Szenario, das gerade angezeigt wird (Abb. 11). Durch Versuche konnte festgestellt werden, dass erst eine Abweichung im Bereich eines Bruchteils eines Grades vom menschlichen Auge nicht mehr als solche wahrnehmbar ist.



(Abb. 11, Drehbewegung des Kopfes)

Diese Verzögerung wird auch in Zukunft nie ganz eliminierbar sein. Allein die Latenz eines herkömmlichen Displays mit 60Hz Refresh-Rate beträgt schon 17ms. Es müssen also verschiedene Methoden angewandt werden, um diese dynamischen Fehler zu reduzieren.

Einerseits sollte die Latenz des „Scene Generators“ möglichst niedrig sein. Leider sind moderne Systeme dieser Art eher auf Durchsatz anstatt auf Latenz optimiert.

Ein anderer Ansatz liegt im Rendern eines grösseren Bildausschnitts, als nur gerade jener im Sichtbereich des Benutzers. Die Video-Technologie ermöglicht zudem ein künstliches Verzögern des Videostreams der realen Umgebung. Dadurch ist zwar der kombinierte Stream leicht verzögert, dafür ist die Ausrichtung der Objekte korrekt.

Als weitere Möglichkeit zur Reduktion der dynamischen Fehler können auch geeignete Algorithmen angewendet werden, welche Vorhersagen treffen über den zukünftigen Standpunkt des Benutzers, beziehungsweise über die zukünftige Position der Objekte.

4. Zukünftige Hindernisse

Nebst diesem sehr grundsätzlichen Problem der Registrierung gibt es auch noch einige andere Einschränkungen, die einen breiten Einsatz von AR-Systemen verhindern.

Auf technologischer Seite müssen noch leichtere, billigere sowie stromsparende Displays, Trackers und Sensoren entwickelt werden [8]. Um die Interaktionen mit dem Benutzer zu erleichtern, braucht es intuitive, leicht bedienbare und für die entsprechende Anwendung geeignete Benutzerschnittstellen.

Werden die oben genannten Probleme in Zukunft gelöst sein, stellen sich dann auch Fragen der sozialen Akzeptanz. Ist der Benutzer bereit ein solches System mit sich zu tragen? Entspricht es der Mode des Benutzers dauernd mit Brille herumzulaufen?

Zudem ist auch die Privatsphäre des Benutzers betroffen. Denn durch das genaue Tracking könnte der Benutzer überwacht und seine Positionen aufgezeichnet werden.

5. Referenzen

- [1] I. Sutherland
A Head-Mounted Three-Dimensional Display
Fall Joint Computer Conf., Am. Federation of Information Processing Soc. (AFIPS)
Conf. Proc. 33, Thompson Books, Washington D.C., 1968, pp. 757-764
- [2] P. Milgram and F. Kishino
A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays
IEICE Trans. Information Systems, vol. E77-D, no. 12, pp. 1321-1329, December 1994
http://vered.rose.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html
- [3] Ronald T. Azuma
A Survey of Augmented Reality
Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 6, No. 4, pp. 355-385, August 1997
- [4] Brooks, Frederick P. Jr.
The Computer Scientist as Toolsmith II
CACM 39,3, pp. 61-68, March 1996
- [5] P. Milgram, Z. Shumin, D. Drascic and J. Grodski
Applications of Augmented Reality for Human-Robot Communication
Proceedings of International Conference on Intelligent Robotics and Systems
Yokohama, Japan, pp. 1467-1472, July 1993
- [6] Blaine Bell, Tobias Höllerer, Steven Feiner
An Annotated Situation-Awareness Aid for Augmented Reality
UIST '02: Proceedings of the 15th annual ACM symposium on User interface software and
technology, ACM Press, ISBN 1-58113-488-6, pp. 213-216, 2002
- [7] R. Stoakley, M. Conway and R. Pausch
Virtual reality on a WIM: Interactive worlds in miniature
Proc. CHI '95 (ACM Conf. on Human Factors in Comp. Sys.), pp. 265-272, May 7-11 1995
- [8] R. Azuma, Y. Baillot, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, B. MacIntyre
Recent Advances in Augmented Reality
Computer Graphics and Applications, Vol. 21, No. 6, IEEE, pp. 34-47, November 2001