

Gehen> Gehen an Ort und Stelle> Fliegen in virtuellen Umgebungen

Martin Usoh † Kevin Arthur † Mary C. Whitton † Rui Bastos † Anthony Steed † Mel Slater † Frederick P. Brooks, Jr. †

† Institut für Informatik, University College London
‡ Institut für Informatik, Universität von North Carolina in Chapel Hill

Abstrakt

Eine Studie von Slater, *et al.*, [1995] gaben an, dass naive Subjekte in einer immersiven virtuellen Umgebung ein höheres subjektives Gefühl der Präsenz erfahren, wenn sie sich durch Gehen an Ort und Stelle fortbewegen (*virtuelles Gehen*) als wenn sie per Knopfdruck fliegen (entlang der Bodenebene). Wir haben ihre Studie wiederholt und als dritte Bedingung echtes Gehen hinzugefügt.

Unsere Studie bestätigte ihre Ergebnisse. Wir haben auch festgestellt, dass reales Gehen als Fortbewegungsart deutlich besser ist als virtuelles Gehen und einfaches Fliegen (Einfachheit, Geradlinigkeit, Natürlichkeit). Der größte Unterschied in der subjektiven Präsenz bestand zwischen Fliegen und beiden Arten von Wanderern. Darüber hinaus war die subjektive Präsenz bei realen Wanderern höher als bei virtuellen Wanderern, der Unterschied war jedoch nur bei einigen Modellen statistisch signifikant. Folgestudien zeigen, dass das virtuelle Gehen durch Erkennen von Schritten mit einem Kopfbeschleunigungsmesser erheblich verbessert werden kann.

Wie in der Slater-Studie korrelierte die subjektive Präsenz signifikant mit dem Grad der Assoziation der Probanden mit ihren virtuellen Körpern (Avatare). Dies, unser stärkstes statistisches Ergebnis, legt dies nahe. Durch die Verfolgung aller können erhebliche potenzielle Präsenzgewinne erzielt werden. Gliedmaßen und Anpassen des Avatar-Erscheinungsbilds.

Ein unerwartetes Nebenprodukt war das echte Gehen durch unsere verbesserte Version von Slaters virtueller Umgebung mit visuellen Klippen durch virtuelle Räume ist das primitivste und wichtigste Special (Abbildung 1) ergab eine auffallend überzeugende virtuelle Erfahrung - der Fall [Iwata, 1999; Bowman, 1997]. Am stärksten haben wir und die meisten unserer Besucher bisher erlebt. Das

Die am meisten benötigte Systemverbesserung ist die Substitution von Wireless. Die meisten Menschen glauben und Studien bestätigen, dass die Technologie für alle Links Der Körper des Teilnehmers mit den realen propriozeptiven Empfindungen, denen synthetische visuelle und akustische Daten entsprechen, beeinflusst die virtuelle Präsenz stark [Slater, 1994; Slater, 1997]. Daher hat die Fortbewegungsforschung in zwei Dimensionen stattgefunden: Entwicklung von Wide-Area-Tracker, damit Benutzer wirklich herumlaufen können [Ward, 1992], und Entwicklung von körperaktiven Ersatzstoffen für das Gehen: Laufbänder, Fahrräder, Rollstühle, Rollschuhe und Walking-in-Place [Brooks, 1986; Christensen, 1998; Darken, 1997; Iwata, 1999; Slater, 1993].

CR-Kategorien und Fachbeschreibungen: I.3.7 [Computer Grafik]: Dreidimensionale Grafik und Realismus - *Virtuell Wirklichkeit*; I.3.6 [Computergrafik]: Methodik und Techniken - *Interaktionstechniken*; H.5.2 [Information Schnittstellen]: Benutzeroberflächen *Bewertung / Methodik*.

Schlüsselwörter: Präsenz, Fortbewegung, virtuelle Realität, virtuell Gehen, menschliche Faktoren, neuronale Netze, visuelle Klippe

† Gower Street, London WC1E 6BT, Großbritannien

{m.usoh | a.steed | m.slater}@cs.ucl.ac.uk

‡ CB # 3175, Chapel Hill, NC 27599-3175, USA

{arthur | whitton | bastos | brooks}@cs.unc.edu

Die Erlaubnis, digitale oder gedruckte Kopien aller oder eines Teils dieser Arbeit für den persönlichen Gebrauch oder den Unterricht zu erstellen, wird ohne Gebühr erteilt, sofern die Kopien nicht zum Gewinn oder zum kommerziellen Vorteil angefertigt oder verteilt werden und die Kopien diesen Hinweis und das vollständige Zitat auf der ersten Seite tragen. Um etwas anderes zu kopieren, erneut zu veröffentlichen, auf Servern zu veröffentlichen oder auf Listen weiterzugeben, ist eine vorherige Genehmigung und / oder eine Gebühr erforderlich.

SIGGRAPH 99, Los Angeles, CA USA

Copyright ACM 1999 0-201-48560-5 / 99/08. . . \$ 5,00



Abbildung 1. Ansicht über die virtuelle Kante.

1. HINTERGRUND UND ZIELE

Ein entscheidendes Problem in der Forschung zu virtuellen Umgebungen ist die Entwicklung natürlicher und effektiver virtueller Ersatzprodukte für Benutzer Interaktionen mit physischen Räumen und Objekten. Fortbewegung

Die meisten Menschen glauben und Studien bestätigen, dass die Technologie für alle Links Der Körper des Teilnehmers mit den realen propriozeptiven Empfindungen, denen synthetische visuelle und akustische Daten entsprechen, beeinflusst die virtuelle Präsenz stark [Slater, 1994; Slater, 1997]. Daher hat die Fortbewegungsforschung in zwei Dimensionen stattgefunden: Entwicklung von Wide-Area-Tracker, damit Benutzer wirklich herumlaufen können [Ward, 1992], und Entwicklung von körperaktiven Ersatzstoffen für das Gehen: Laufbänder, Fahrräder, Rollstühle, Rollschuhe und Walking-in-Place [Brooks, 1986; Christensen, 1998; Darken, 1997; Iwata, 1999; Slater, 1993].

In immersiven virtuellen Umgebungen ist die häufigste Art der Fortbewegung das lokale Gehen, das durch die Reichweite des Trackers begrenzt ist, kombiniert mit einem knopfgesteuerten Fliegen der gesamten lokalen Nachbarschaft zu einem anderen virtuellen Ort [Robinett, 1992]. Dies kann mit dem Herumlaufen auf einem Tieflader verglichen werden, der unabhängig für globale Bewegungen navigiert wird. Schiefer *et al.*, entwickelte ein einfaches und wirtschaftliches Walk-In-Place-Technik, *ein Laufband*, Das verwendet ein neuronales Netz, um die verfolgte Kopfbewegung zu analysieren, um Schritte zu erfassen [Slater, 1993; Hertz, 1991]. Eine Studie aus dem Jahr 1995 ergab, dass virtuelles Gehen mit dieser Technik die subjektive Bewertung der Präsenz im Vergleich zum Fliegen für Probanden, die subjektiv mit ihren Avataren assoziiert sind, signifikant verbesserte. Die Avatar-Assoziation hat die Präsenz von fliegenden Personen nicht signifikant verbessert [Slater, 1995].

In der vorliegenden Studie haben wir die beiden Strömungen der Fortbewegungsforschung unter Verwendung eines großflächigen Deckenverfolgers zusammengeführt und die Slater 1995-Studie zum virtuellen Gehen repliziert und als dritte Bedingung reales Gehen hinzugefügt.

Die Ziele waren:

- Um zu sehen, ob die Ergebnisse der früheren Studie angesichts neuerer Technologien zutreffen.
- Vergleich von Fliegen, virtuellem Gehen und realem Gehen hinsichtlich Leichtigkeit der Fortbewegung und subjektiver Präsenz.

Wenn virtuelles Gehen in der Tat besser ist als Fliegen, ist es so wirtschaftlich zu implementieren, dass es für die meisten Anwendungen, die heute das Fliegen verwenden, zur bevorzugten Technik wird. Wenn, und das war unsere Hoffnung, virtuelles Gehen im Wesentlichen dem realen Gehen entspricht, kann die großflächige Verfolgung für sehr spezifische Anwendungen reserviert werden, bei denen physische Bewegung unerlässlich ist.

2. VERBESSERUNGEN DER URSPRÜNGLICHEN STUDIE

Wir haben versucht, die Integrität der ursprünglichen Studie aufrechtzuerhalten. Wir haben jedoch das Verfahren und das Szenario geändert, um Einschränkungen des physischen Raums Rechnung zu tragen und echtes Gehen hinzuzufügen, die visuelle Wiedergabeteile des Modells zu verbessern und das Maß der Präsenz zu verbessern.

2.1 Echtes Gehen

Die Teilnehmer konnten sich frei in der gesamten virtuellen Szene bewegen auf die gleiche Weise wie in einer realen Umgebung. Wir verfolgten die des Benutzers. Im ursprünglichen Experiment wurde mit einem benutzerdefinierten optischen Tracker in Richtung des Handkopfes und einer Hand geflogen [Ward, 1992; spitz. Dies entkoppelte den Kopf und die Hand, so dass die Probanden Welch, 1997]. Dieser Tracker arbeitet über eine Reichweite von ungefähr freiem Umschauen während des Fluges. Die Probanden sind jedoch im Allgemeinen 10 x 4 m groß und millimetergenau. Zwei optische Sensoren fanden es schwieriger als in Richtung g zu fliegen. Zu blinkende Infrarot-LEDs an den Deckenplatten. Das Tracking-System sorgt dafür, dass die Flyer- und Virtual-Walker-Gruppen übereinstimmen. Wir haben die Position und Ausrichtung der Aktualisierungen bei ca. 1,5 kHz ausgewählt. Die Bewegung entlang des Blicks (eigentlich Kopfrichtung). Eine Nichtübereinstimmung von Berichten wird der Anwendung mit 70 Hz zugeführt. Wir stellen die Tracker-Filterbewegung so ein, dass sie auch entlang der Blickrichtung auftreten kann, wenn die Probanden eine Tracker-Latenz von 25 ms erzielen möchten. Totale Latenz, die ihnen zu Füßen liegt. Daher haben wir die Vorwärtsrichtung erzwungen Kontonetzwerk- und Grafikverzögerungen entsprachen ungefähr den virtuellen Füßen, um der Kopfrichtung zu entsprechen. 100 ms. Ermöglichen, dass die Teilnehmer frei auf einem großen Gebiet herumlaufen können erforderliche Sorgfalt, damit die Teilnehmer nicht an Kabeln hängen bleiben oder stolpern, 2.4 Die virtuelle Welt und das Szenario oder mit echten Hindernissen im Labor kollidieren. Einer der Experimentatoren gingen hinter die Benutzerhandhabungskabel und das Szenario von 1995 bestand aus einem virtuellen Korridor von etwa 10 m Länge, der mit einer offenen Tür, die zu einem anderen Raum führt. Der Korridor enthielt eine Reihe von Kisten auf dem Boden. Die Probanden konnten zu einem bestimmten Punkt entlang des Korridors reisen, ohne durch die Tür sehen zu können. Anweisungen und Schulungen wurden hier gegeben. Dies war hauptsächlich zur Akklimatisierung von Kopfbewegungen gedacht, die während des tatsächlichen Gehens erzeugt wurden, jedoch ohne und zum Üben der Fortbewegung und des Ergreifens virtueller Objekte.

2.2 Virtuelles Gehen

Beim virtuellen Gehen müssen die Teilnehmer den physischen Teil der Szene reproduzieren (Abbildung 2a). Dies war hauptsächlich zur Akklimatisierung von Kopfbewegungen gedacht, die während des tatsächlichen Gehens erzeugt wurden, jedoch ohne und zum Üben der Fortbewegung und des Ergreifens virtueller Objekte.

physische Fortbewegung. Die Änderungen der Kopfposition werden einem neuronalen Netzwerk zugeführt, das zuvor darauf trainiert war, das Gehen zu erkennen. Das Netzwerk unterscheidet, wann die Teilnehmer vor Ort sind, von dem Zeitpunkt, an dem sie etwas anderes tun. Wenn virtuelles Gehen erkannt wird, werden sie im virtuellen Raum in Richtung Kopf nach vorne bewegt. Dies scheint intuitiv zu sein; Die Teilnehmer können navigieren, ohne dass ihnen mitgeteilt wird, dass sie sich in Blickrichtung bewegen werden. Wir haben das gleiche neuronale Feed-Forward-Netzwerk wie in der Studie von 1995 verwendet (Einzelheiten siehe [Slater, 1993]). Das Streamen von Positionsdaten in das neuronale Netzwerk mit 10 Hz ergibt eine gute Unterscheidung.

Wie bei der Studie von 1995 haben wir ein neuronales Netzwerk verwendet, für das trainiert wurde *Standard* virtuelles Gehen. Dieses Standardnetz wurde aus dem Gang des Hauptautors abgeleitet. Es war wirksam beim Erkennen der Bewegung vor Ort. Zufällige Besucher des Labors konnten die Bewegungen nachbilden; Es war nicht notwendig, das System auf die Gänge einzelner Probanden zu trainieren.

Das neuronale Netzwerk kann zwei Arten von Fehlern machen. Typ I beurteilt Benutzer als gehend, wenn sie es nicht sind. Typ II beurteilt sie als nicht gehend, obwohl sie es tatsächlich sind. Die Fehler vom Typ II treten normalerweise beim Starten der Bewegung auf, Fehler vom Typ I beim Beenden und sie manifestieren sich als Überspringen - was manchmal zu virtuellen Kollisionen führt. Typ-II-Fehler sind im Allgemeinen nicht so schwerwiegend, da sie sich in vorübergehenden Leistungsunterbrechungen äußern, die zu einer allgemeinen Langsamkeit der Fortbewegung führen. Fehler vom Typ I sind für Benutzer störender.

2.3 Fliegen

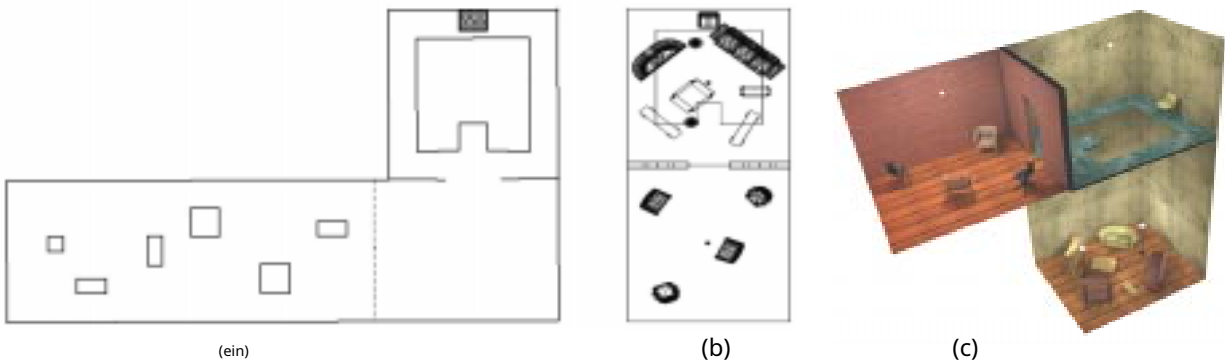


Abbildung 2. (a) Ursprüngliche Slater-Umgebung, 1.000 Polygone; (b, c) Umgebung für aktuelle Studie, 40.000 Polygone.



Figur 3. Sequenz von Bildern der Umgebung. Das Bild oben links zeigt die Ansicht eines Motivs beim Betreten des Grubenraums. Oben rechts sehen Sie die Ansicht, wenn Sie auf dem „Sprungbrett“ auf dem Sims stehen. Die unteren Bilder bilden Stereopaare der Ansicht, wenn Sie neben dem Zielstuhl nach unten schauen (die beiden linken Bilder sind für die Betrachtung mit Wandaugen vorgesehen; die rechten Bilder sind für die Betrachtung mit Kreuzaugen vorgesehen).

Wenn ein Benutzer den virtuellen Raum betritt, der vom Korridor wegführt, befindet er sich auf einer Kante, die den ganzen Weg um den Raum herum und auf der Kante auf der anderen Seite befindet. Dies ist ein Effekt, der nicht in der realen Welt beobachtet werden kann, da ein direkter Weg von der Tür zum Stuhl bedeuten würde, auf den „leeren Raum“ hinauszugehen. Wir auch in mehreren Probanden geben es als Ablenkung an.

Es ist möglich, „sicher“ zum Stuhl zu gelangen, indem man am Rand des Raums entlang geht. Mehrere Forscher haben die Quantifizierung des Raums durchgeführt. Diese Szene ist inspiriert von Gibsons visueller Klippenexperimentpräsenz [Slater, 1994; Ellis, 1996; Pausch, 1997]. Subjektive [Gibson, 1960] und Höhenangst von anderen Forschern, die mithilfe von Fragebögen berichten, sind die häufigste Methode. Dies [Rothbaum, 1995].

Die Methode beruht jedoch darauf, Antworten über die Probanden zu erhalten.

Obwohl wir Wide Area Tracking verwenden, muss die virtuelle Szene immer noch in einen endlichen Bereich passen. Wir haben den verfolgten Raum daher in einen Trainingsbereich und einen Versuchsbereich von jeweils 5 x 4 Metern unterteilt. Im virtuellen Raum wurden diese Bereiche zu einem Trainingsraum und dem Raum mit der virtuellen Grube zusammengeführt. Eine virtuelle Tür verhindert, dass Probanden während des Trainings den virtuellen Boxenraum sehen. Wir haben die Abmessungen des virtuellen Boxenraums von 1995 beibehalten und einen kleineren virtuellen Trainingsbereich verwendet (Abbildungen 2b, 2c).

Eine moderne Grafik-Engine (SGI Infinite Reality System) ermöglichte es uns, eine stark verbesserte visuelle Szene zu verwenden - etwa 40-mal so viele wie menschliche Polygone (insgesamt etwa 40.000), Radiosity-Beleuchtung und Texturierung für fast die Hälfte der Polygone (Abbildung 3).

Da die Studie von 1995 die Bedeutung der Benutzerassoziation mit dem virtuellen Körper zeigte, haben wir über 11.000 der Polygone in einen detaillierten Avatar investiert (Abbildung 4). Der Proband konnte seine verfolgte virtuelle rechte Hand sehen, die durch einen virtuellen Arm mit seinem Körper verbunden war. Ein Subjekt, das nach unten blickte, konnte seinen virtuellen Körper und seine Füße sowie eine nicht verfolgte virtuelle linke Hand sehen. Der virtuelle Körper war in Kopfrichtung ausgerichtet. Folglich, wenn man seine virtuelle betrachtet



Abbildung 4. Ansicht mit Avatar.

Erfahrungen *nach dem* das Ereignis. Die Themen müssen detailliert bleiben. Erinnerungen an jeden Teil der Erfahrung. Eine ideale Maßnahme würde Aufzeichnungen von Probanden erfordern *während* eingetaucht in die Umgebung. Ein neuerer Ansatz hängt von der Gestaltpsychologie ab, um Präsenzniveaus aufzuzeichnen, ohne die VE-Erfahrung zu beeinträchtigen [Slater, 1998]. Dies hängt von Probanden ab, die angeben, wann sie eine *Pause in Gegenwart* (BIP) aus der virtuellen Umgebung.

Wir haben die auf dem Fragebogen basierende Methode von 1995 zur Bestimmung der virtuellen Präsenz beibehalten, sie jedoch erheblich erweitert. Der erweiterte Fragenkatalog fragt nach verschiedenen Aspekten des Virtuellen Erfahrung wie das Gefühl, „da zu sein“, Häufigkeit und Berichterstattung: Dominanz der virtuellen Welt über die reale Welt, Gefühl des Besuchs des Weges zum Stuhl, Bereitschaft, über die Grube hinauszugehen usw. im Vergleich zum Betrachten einer Szene usw. Diese waren durchsetzt mit

Fragen zur Leichtigkeit und Wirksamkeit der Fortbewegung und gepolstert mit Füllfragen. Alle Anwesenheits- und Leistungsbezüge, die 1995 für Fragen zu Anwesenheit, Verhalten und Fortbewegung verwendet wurden, wurden auf einer Skala von 1 bis 7 bewertet. die Gesamtzahl von 6 und 7 [Cox, 1970]. Wir haben dieselbe binomiale logistische Regressionsanalyse verwendet wie zuvor mit Füllfragen. Alle Anwesenheits- und Leistungsbezüge, die 1995 für Fragen zu Anwesenheit, Verhalten und Fortbewegung verwendet wurden, wurden auf einer Skala von 1 bis 7 bewertet. Wir haben ein Basismodell angepasst, das nur verwendet die Punktzahl wurde als Gesamtpunktzahl herangezogen. Wir haben die Bewegungsmethode als unabhängige Variable erweitert. Wir haben dann a getestet Fragebogen mit einer mündlichen Nachbesprechung, in der die Anzahl der anderen erklärenden Variablen untersucht wird, indem zunächst die Erfahrung verstärkt oder BIPs verursacht werden. Wir haben das kostenlose Basismodell empfohlen und Begriffe entsprechend ihren Formularkommentaren hinzugefügt Signifikanzniveau gemessen an der Chi-Quadrat-Verteilung. Wir waren am meisten an dem Grad der Assoziation mit dem Virtuellen interessiert

Sowohl reale als auch virtuelle Ansichten von Sitzungen wurden auf Video aufgezeichnet. Körper, da in der Studie von 1995 die dominierenden erklärenden Nachbesprechungssitzungen mit Tonband aufgezeichnet wurden. Tracking-Informationen variabel für das Ausmaß der Anwesenheit.

Knopfdruckereignisse wurden aufgezeichnet

Fußbewegung des Benutzers und entsprechende Beurteilungen des neuronalen Netzes Wir präsentieren die Fragebogendaten, Verhaltensdaten, die für virtuelle Wanderer aufgezeichneten Nachbesprechungen, um Gütebewertungen für die Kommentare zu erhalten, und die Details der statistischen Analyse im Webnetz. Seite http://www.cs.unc.edu/~walk/walking_expt/.

3. DAS EXPERIMENT

Die Experimente verwendeten einen Silicon Graphics Onyx2 mit einer Grafikkarte, zwei Raster-Managern, vier 195-MHz-R10000-Prozessoren und

2 GB Hauptspeicher. Die Szene wurde mit OpenGL gerendert. Das Experiment bestätigt das Ergebnis von 1995, dass Präsenz korreliert und lokal entwickelte Software; Das System blieb in hohem Maße mit dem Grad der Assoziation mit dem virtuellen Körper verbunden. Diese Rate von 30 Hz Stereo. Beim Betrachten wurde ein Virtual Research V8-Headseem verwendet, um unabhängig von irgendetwas anderem zu halten. Der Beweis

Ein montiertes Display mit einer echten VGA-Auflösung von (640 x 3) x 480 deutet darauf hin, dass die Präsenz bei virtuellen Wanderern höher ist als bei Flyern, Pixel pro Auge - 307.200 Triaden. Diese Anzeige besteht aus zwei 1,3 und höher für reale Wanderer als für virtuelle Wanderer. Die Zoll-Aktivmatrix-LCDs mit einem Sichtfeld von 60 Grad Unterschied zwischen den Gruppen nehmen jedoch ab, wenn sie okulomotorisch sind Beschwerden werden berücksichtigt. Okulomotorische Beschwerden sind eine der drei vom Simulator gemessenen diagnostischen Subskalen

Das Eingabegerät war ein Joystick mit vier Tasten; der experimentelle Krankheitsfragebogen [Kennedy, 1993]. Wir haben das gefunden benutzte zwei. Der Joystick und das HMD wurden von der Decke verfolgt, wodurch die Präsenz der virtuellen Wanderer und Flyer verringert wird. aber nicht Tracker. Das System hatte eine Gesamtlatenz von ungefähr 100 ms mit Lärm, also für die echten Wanderer. Dies hat wahrscheinlich mit der Übereinstimmungsverzögerung von etwa 500 ms für das Gehen im Apple zu tun.

Insgesamt nahmen 33 „naive“ Probanden an der Studie teil. Der wahre Gehfall, der die Nachteile von Unbehagen überwindet. Voraussetzung war, dass sie keine Kenntnis von den Zielen des Ziels haben. Dieses Ergebnis entspricht weitgehend den bisherigen Erkenntnissen. Schließlich, wenn experimentieren. Jedes Fach erhielt 10 US-Dollar. Naive Probanden waren das Ziel, dass die Menschen die Fortbewegung als natürlich, einfach und in Flyer, virtuelle Wanderer und echte Walkeerasc gruppiert bewerten, h mit 6 unkompliziert, dann ist echtes Gehen besser als die anderen Methoden.

Männer und 5 Frauen. Weitere 11 Probanden (10 Männer, 1 Frau) waren „erfahrene“ Benutzer, die eine

5.2 Benutzerberichte

mehrere Gelegenheiten und arbeiteten im Allgemeinen im Bereich der subjektiven Berichte über das Gefühl, „da zu sein“, waren im Allgemeinen

Computergrafiken. Wir haben die Ergebnisse dieser Gruppe in die Stärke aller drei Gruppen einbezogen. Obwohl die Probanden waren Analyse und getestet, ob Fachwissen eine signifikante Variable im intellektuellen Bewusstsein war, dass sie in einer Simulation sind, die Kraft der Ergebnisse. Es war nicht. Das menschliche visuelle System löst angeborene Reaktionen aus. Einer kommentierte,

Das Experiment bestand aus einem Fragebogen zur Simulatorkrankheit. „Ich hatte Angst, das Sturzgefühl zu erleben, das ich bei 16 Kategorien gehabt haben könnte [Kennedy *et al.*, 1993], die virtuelle Erfahrung, ob ich geradeaus gegangen wäre [über die virtuelle Grube].“

In einem Fragebogen zur wiederholten Simulatorkrankheit wurden die Anwesenheitssubjekte auch gefragt, welche Faktoren sie gegebenenfalls aus dem Fragebogen herausbrachen, und anschließend eine mündliche Nachbesprechung. Und die Simulation. Berichte enthielten falsches Verhalten der

Der Ermittler trainierte das Thema im Schulungsraum, der Umgebungsbedingungen und Avatare, Hintergrundgeräusche und Störungen durch einige Stühle, eine blaue Box und eine grüne Box aufwies. Die Probanden übten die Hardware. Ungefähr 30% gaben an, dass sie die Kabel als Fortbewegung und Aufheben der blauen Box wahrnahmen, bis sie in Gegenwart Brüche verursachten. Etwa 15% der Probanden äußerten sich mit beiden zufrieden.

Kisten fielen, als sie fallen gelassen wurden. Die Probanden tauchten immer mehr in die Erfahrung ein, sobald die sagte, sie sollten mit dem Experiment fortfahren, wann immer sie sich bereit fühlten. Der Ermittler hörte auf, Anweisungen zu geben. Der Ermittler sprach nicht mehr, bis er die Aufgabe erledigt hatte.

Diese Aufgabe bestand darin, die grüne Kiste im Schulungsraum zu ergreifen und zum Stuhl im virtuellen Grubenraum zu tragen. Das Grün aufheben

Box öffnet automatisch die Tür zwischen den beiden virtuellen Räumen. Die Probanden konnten den Weg zum Stuhl frei wählen, entweder entlang der Kante, links oder rechts, oder direkt zum Stuhl über der Grube. Objektiv verbinden wir einen Pfad über die virtuelle Grube mit einem geringeren Präsenzgefühl als einen entlang der Kante.

4. ANALYSE

Um den Vergleich mit der Studie von 1995 zu ermöglichen, wurde eine Analyse unter Verwendung der ursprünglichen Fragen durchgeführt, gefolgt von einer mit unserem erweiterten Satz. Eine weitere Analyse wurde zu beobachteten Verhaltensweisen durchgeführt

Wir haben ein Basismodell angepasst, das nur verwendet die Punktzahl wurde als Gesamtpunktzahl herangezogen. Wir haben die Bewegungsmethode als unabhängige Variable erweitert. Wir haben dann a getestet Fragebogen mit einer mündlichen Nachbesprechung, in der die Anzahl der anderen erklärenden Variablen untersucht wird, indem zunächst die Erfahrung verstärkt oder BIPs verursacht werden. Wir haben das kostenlose Basismodell empfohlen und Begriffe entsprechend ihren Formularkommentaren hinzugefügt Signifikanzniveau gemessen an der Chi-Quadrat-Verteilung. Wir waren am meisten an dem Grad der Assoziation mit dem Virtuellen interessiert

Körper, da in der Studie von 1995 die dominierenden erklärenden variabel für das Ausmaß der Anwesenheit.

Wir präsentieren die Fragebogendaten, Verhaltensdaten, die für virtuelle Wanderer aufgezeichneten Nachbesprechungen, um Gütebewertungen für die Kommentare zu erhalten, und die Details der statistischen Analyse im Webnetz. Seite http://www.cs.unc.edu/~walk/walking_expt/.

5. ERGEBNISSE

5.1 Allgemeine Schlussfolgerungen

Das Experiment bestätigt das Ergebnis von 1995, dass Präsenz korreliert und lokal entwickelte Software; Das System blieb in hohem Maße mit dem Grad der Assoziation mit dem virtuellen Körper verbunden. Diese Rate von 30 Hz Stereo. Beim Betrachten wurde ein Virtual Research V8-Headseem verwendet, um unabhängig von irgendetwas anderem zu halten. Der Beweis

Ein montiertes Display mit einer echten VGA-Auflösung von (640 x 3) x 480 deutet darauf hin, dass die Präsenz bei virtuellen Wanderern höher ist als bei Flyern, Pixel pro Auge - 307.200 Triaden. Diese Anzeige besteht aus zwei 1,3 und höher für reale Wanderer als für virtuelle Wanderer. Die Zoll-Aktivmatrix-LCDs mit einem Sichtfeld von 60 Grad Unterschied zwischen den Gruppen nehmen jedoch ab, wenn sie okulomotorisch sind Beschwerden werden berücksichtigt. Okulomotorische Beschwerden sind eine der drei vom Simulator gemessenen diagnostischen Subskalen

Das Eingabegerät war ein Joystick mit vier Tasten; der experimentelle Krankheitsfragebogen [Kennedy, 1993]. Wir haben das gefunden benutzte zwei. Der Joystick und das HMD wurden von der Decke verfolgt, wodurch die Präsenz der virtuellen Wanderer und Flyer verringert wird. aber nicht Tracker. Das System hatte eine Gesamtlatenz von ungefähr 100 ms mit Lärm, also für die echten Wanderer. Dies hat wahrscheinlich mit der Übereinstimmungsverzögerung von etwa 500 ms für das Gehen im Apple zu tun.

zwischen Präsenz und Propriozeption - die größere Übereinstimmung in der

Insgesamt nahmen 33 „naive“ Probanden an der Studie teil. Der wahre Gehfall, der die Nachteile von Unbehagen überwindet. Voraussetzung war, dass sie keine Kenntnis von den Zielen des Ziels haben. Dieses Ergebnis entspricht weitgehend den bisherigen Erkenntnissen. Schließlich, wenn experimentieren. Jedes Fach erhielt 10 US-Dollar. Naive Probanden waren das Ziel, dass die Menschen die Fortbewegung als natürlich, einfach und in Flyer, virtuelle Wanderer und echte Walkeerasc gruppiert bewerten, h mit 6 unkompliziert, dann ist echtes Gehen besser als die anderen Methoden.

Männer und 5 Frauen. Weitere 11 Probanden (10 Männer, 1 Frau) waren „erfahrene“ Benutzer, die eine

5.2 Benutzerberichte

mehrere Gelegenheiten und arbeiteten im Allgemeinen im Bereich der subjektiven Berichte über das Gefühl, „da zu sein“, waren im Allgemeinen

Computergrafiken. Wir haben die Ergebnisse dieser Gruppe in die Stärke aller drei Gruppen einbezogen. Obwohl die Probanden waren Analyse und getestet, ob Fachwissen eine signifikante Variable im intellektuellen Bewusstsein war, dass sie in einer Simulation sind, die Kraft der Ergebnisse. Es war nicht. Das menschliche visuelle System löst angeborene Reaktionen aus. Einer kommentierte,

Das Experiment bestand aus einem Fragebogen zur Simulatorkrankheit. „Ich hatte Angst, das Sturzgefühl zu erleben, das ich bei 16 Kategorien gehabt haben könnte [Kennedy *et al.*, 1993], die virtuelle Erfahrung, ob ich geradeaus gegangen wäre [über die virtuelle Grube].“

In einem Fragebogen zur wiederholten Simulatorkrankheit wurden die Anwesenheitssubjekte auch gefragt, welche Faktoren sie gegebenenfalls aus dem Fragebogen herausbrachen, und anschließend eine mündliche Nachbesprechung. Und die Simulation. Berichte enthielten falsches Verhalten der

Der Ermittler trainierte das Thema im Schulungsraum, der Umgebungsbedingungen und Avatare, Hintergrundgeräusche und Störungen durch einige Stühle, eine blaue Box und eine grüne Box aufwies. Die Probanden übten die Hardware. Ungefähr 30% gaben an, dass sie die Kabel als Fortbewegung und Aufheben der blauen Box wahrnahmen, bis sie in Gegenwart Brüche verursachten. Etwa 15% der Probanden äußerten sich mit beiden zufrieden.

Kisten fielen, als sie fallen gelassen wurden. Die Probanden tauchten immer mehr in die Erfahrung ein, sobald die sagte, sie sollten mit dem Experiment fortfahren, wann immer sie sich bereit fühlten. Der Ermittler hörte auf, Anweisungen zu geben. Der Ermittler sprach nicht mehr, bis er die Aufgabe erledigt hatte.

Diese Aufgabe bestand darin, die grüne Kiste im Schulungsraum zu ergreifen und zum Stuhl im virtuellen Grubenraum zu tragen. Das Grün aufheben

5.3 Fortbewegung

Wir fanden einen starken signifikanten Unterschied zwischen echtem Gehen und den anderen Methoden. Abbildung 5 zeigt die mittleren Antworten auf die drei Fragen zur Fortbewegung.

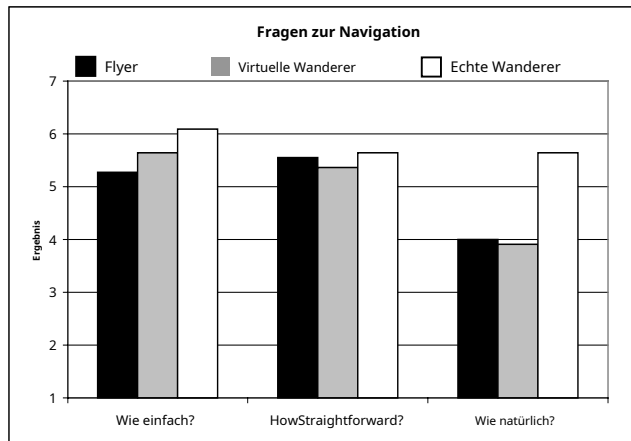


Abbildung 5: Einfache Fortbewegung über Gruppen hinweg.

Echtes Gehen ist mit einer insgesamt leichteren Fortbewegung verbunden, gemessen an der Kombination der drei Fortbewegungsfragen. Das Gesamtmodell passt nicht gut zusammen, und es sind eindeutig andere Variablen erforderlich, um die Variation zwischen den Probanden zu erklären. Keine andere Variable im Experiment ist signifikant. Wenn jede der drei Fragen zur Fortbewegung separat betrachtet wird, sind die Unterschiede zwischen den Gruppen nicht signifikant. Dies zeigt an, dass sich die Ergebnisse der drei Komponenten zusammenballen.

5.4 Verhaltenspräsenz

Unter Verhaltenspräsenz verstehen wir das Ausmaß, in dem tatsächliche Verhaltensweisen oder interne Zustände und Wahrnehmungen darauf hindeuten, dass sie sich in der von der VE dargestellten Situation befinden und nicht in der realen Welt des Labors. Eine Partitur wurde aus fünf Komponenten erstellt:

- Ein gemeldeter Indikator dafür, inwieweit dem Probanden Hintergrundgeräusche im realen Labor bekannt waren (auf einer Skala von 1 bis 7);
- Inwieweit ihre Reaktion beim Blick über die Grube selbst als ähnlich eingeschätzt wurde, wie es in einer ähnlichen Situation im wirklichen Leben gewesen wäre (auf einer Skala von 1 bis 7);
- Inwieweit sie Schwindel oder Sturzangst hatten, wenn sie über die virtuelle Grube blickten (auf einer Skala von 1 bis 7);
- Ihre Bereitschaft, über die Grube zu gehen (auf einer Skala von 1 bis 7); Der
- Weg, den sie tatsächlich zum Stuhl auf der anderen Seite genommen haben die Grube - wenn sie über den Abgrund gingen, war die Punktzahl 0, um die Kante gingen, war die Punktzahl 1.

Dieses Maß für die Präsenz des Verhaltens korreliert stark (und wir haben das Szenario über 200 Personen demonstriert. Einige davon positiv) mit der subjektiven Präsenz, die im nächsten Abschnitt behandelt wird. Weigern Sie sich, überhaupt durch die Tür in den Grubenraum zu gehen. Andere werden das vorherige Spiel nicht von Bedeutung sein, und ansonsten gehen sie um den Sims herum zum Stuhl, weigern sich jedoch zu kommen. Ein exzellent angepasstes Modell hängt von denselben Variablen ab wie das Vorderrad. Viele weigern sich, sich über die Grube zu wagen. Für diejenigen, die dies tun, subjektive Präsenz.

Es gibt keinen signifikanten Unterschied in der Auswirkung der Erfahrung des Fortbewegungstyps mehrmals. Wie Gibson uns lehrte, punktet die visuelle Klippe ruft tiefe Instinkte hervor; es zu verletzen ist eine nervenaufreibende Erfahrung. Die Gesamterfahrung ist wesentlich besser als alles andere

Okulomotorische Beschwerden haben einen signifikanten Einfluss in Verbindung mit zuvor in unserem Labor erreichten; es setzt einen neuen Standard. mit Fortbewegungstyp. Insbesondere verringert sich ein höheres Unbehagen

Verhaltenspräsenz für die Flyer, hat jedoch keine Auswirkungen auf die virtuellen oder realen Walker.

Die Assoziation mit dem Körper trägt wesentlich zur Präsenz des Verhaltens bei.

5.5 Subjektive Präsenz

Unter Verwendung der ursprünglichen grundlegenden Methode zur Bewertung der Anwesenheit von 1995 bestätigten wir die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie:

- Es gab überhaupt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Flyer, virtuelle Wanderer und in unserer Studie echte Wanderer).
- Die Assoziation mit dem virtuellen Körper ist positiv mit der Präsenzbewertung verbunden.

Wir fanden auch heraus, dass Frauen ein höheres Gefühl der Präsenz hatten als Männer. Da Frauen jedoch auch deutlich weniger Computerspiele spielten als Männer, ergibt sich ein besser passendes Modell, wenn das Geschlecht durch das Spielen ersetzt wird. Größeres Spielen ist mit geringerer Präsenz verbunden. Keine anderen Variablen waren signifikant.

Die Verwendung der erweiterten Fragebögen mit vier neuen Fragen zu den ursprünglichen drei führte zu besseren Ergebnissen:

- Es gab einen signifikanten Unterschied zwischen Flyern, virtuellen Wanderern und echten Wanderern. Der größte signifikante Unterschied bestand jedoch zwischen der ersten und der zweiten Gruppe, wobei die virtuellen und realen Wanderer ein deutlich höheres Präsenzgefühl als die Flyer aufwiesen. Wenn nichts anderes berücksichtigt wird, haben die realen Wanderer ein höheres Gefühl der Präsenz als die virtuellen Wanderer.
- Je höher die Assoziation mit dem virtuellen Körper ist, desto größer ist das Gefühl der Präsenz, unabhängig von anderen Variablen.
- Das Spielen von Spielen ist unabhängig von allem anderen negativ mit Präsenz verbunden. Es gibt jedoch die gleiche Verwechslung von Spiel und Geschlecht.

Wenn okulomotorische Beschwerden in das Modell eingebracht werden, tritt ein interessantes Ergebnis auf. Es gibt dann im Wesentlichen keinen Unterschied zwischen realen und virtuellen Wanderern, obwohl diese Gruppen immer noch eine deutlich höhere Präsenz aufweisen als die Flyer. In den drei Gruppen gibt es jedoch unterschiedliche Auswirkungen von Unbehagen. Bei den Flyern und virtuellen Wanderern ist ein höheres Unbehagen mit einer verminderten Präsenz verbunden, während dies bei den realen Wanderern nicht der Fall ist.

6. UNERWARTETES ERGEBNIS - A. ÜBERZEUGENDE VIRTUELLE UMGEBUNG ERFAHRUNG

Ein unerwartetes Nebenprodukt dieser Studie war, dass reales Gehen (und in geringerem Maße virtuelles Gehen) durch unsere erweiterte Version der virtuellen Umgebung von Slater eine auffallend überzeugende virtuelle Erfahrung ergibt. "Wow!" "Whoa!" "Uh-oh!" sind wenn typische Reaktionen der Teilnehmer, als sie sich am Rand befanden, offene Tür zum Sims über der Grube.

es erfordert einen offensichtlichen Willensakt, auch nachdem sie das wiederholt haben Wie Gibson uns lehrte, punktet die visuelle Klippe ruft tiefe Instinkte hervor; es zu verletzen ist eine nervenaufreibende Erfahrung. Die Gesamterfahrung ist wesentlich besser als alles andere

Wir glauben, dass die zwingende Natur der Erfahrung auf dem Zusammenfluss vieler Faktoren beruht:

- Die visuelle Klippenumgebung selbst, die Tiefe der Grube, die Enge des Felsvorsprungs
- Nahezu unmerkliche End-to-End-Systemverzögerung in der Größenordnung von 100 ms
- Echtes Herumlaufen in einem bedeutenden Raum
- Der einigermaßen realistische Avatar
- Die visuelle Wiedergabetreue der detaillierten, strukturierten, von Radiosität beleuchteten Szene
- Die hervorragende Auflösung und Farbsättigung des V8 HMD
- Die 30-Hz-Stereobildrate, die von der Onyx 2 Infinite Reality-Engine erreicht wird
- Stereopsis
- Die Präzision und Knusprigkeit des Trackers

Es liegt völlig außerhalb unserer Möglichkeiten, den Beitrag jedes Faktors zu erraten, geschweige denn zu messen.

7. BEMERKUNGEN, LEKTIONEN UND ZUKÜNFTIGE ARBEITEN

Kabel sind ohne Zweifel der unbefriedigendste Teil der VE-Erfahrung. Etwa 30% der Probanden äußerten sich zu dieser Schwierigkeit. Wir arbeiten an drahtlosen Verbindungen.

Echtes Gehen ist am besten für Räume im menschlichen Maßstab geeignet, wenn auch nicht billig.

Virtuelles Gehen scheint eindeutig besser zu sein als zu fliegen, um Räume im menschlichen Maßstab zu erkunden, wenn man eine erhöhte Präsenz oder eine viszerale Schätzung der räumlichen Ausdehnung wünscht. Die Implementierung ist sehr kostengünstig.

Wesentlich verbessertes virtuelles Gehen kann gehabt werden. Die vorliegende Implementierung des neuronalen Netzes erfordert einen etwas übertriebenen Gang, der die Teilnehmer ablenken kann. Die Verzögerung beim Aufhören des Gehens führt zu gefälschten virtuellen Kollisionen und anderen BIPs. Ein miniaturisierter Beschleunigungsmesser am Headtracker ist eine vielversprechende alternative Implementierung. Ergebnisse früherer Studien zeigen, dass Fehler vom Typ I nur 1% und Fehler vom Typ II 11% betragen; gegenüber 3%, 32% für das neuronale Netz. Wir werden auch die Fußbodenkontakterkennung untersuchen.

Avatar-Realismus ist viel Arbeit und Investition wert, da die Identifikation des Benutzers mit dem virtuellen Körper ein so starker Faktor für die Präsenz ist. In unserem Experiment waren die schlaaffe linke Hand und die nicht gehenden Füße beunruhigend, aber keine großen BIPs. Wir arbeiten daran, die Verfolgung auf jede Hand und jeden Fuß auszudehnen und darauf zu vertrauen, dass die inverse Kinematik den Rest des Realismus der Gliedmaßen übernimmt.

Identifikation der Kleidung war für einige Themen überraschend wichtig. Wir haben mit bildbasiertem Rendering mit Video experimentiert, um visuellen Realismus für den eigenen Avatator eines Betrachters zu erzielen. ist sehr vielversprechend.

Inkongruenz zum Standort des Ermittlers verursachte viele BIPs, aber glücklicherweise traten sie nur während der Trainingsphasen auf, nicht während der experimentellen Phasen. Die Probanden berichteten, dass das Betrachten der

Der Sprachort des Experimentators und das Sehen von niemandem verursachten einen BIP. Wir planen im Folgenden, dass die Anweisungen des Ermittlers nur über gegeben werden Dämpfen Sie auch andere unpassende Laborgeräusche.

Mehrdeutige und fehlerhafte Interpretationen des Fragebogens Fragen werden nicht alle durch Pilotversuche exorziert. Fragen erfordern große Sorgfalt. Die mündliche Nachbesprechung der Probanden wird viele Unklarheiten.

8. ANERKENNUNG

Wir danken dem UNC Chapel Hill Tracker-Projekt für den Weitbereichs-Tracker, mit dem wir dieses Experiment durchführen konnten. Wir danken auch Phil Winston für die Unterstützung der Tracker-Software, Zac Kohnafo ccrelrometer Testen, Neil Golson für Hilfe bei der Modellerstellung, David Harrison und Kurtis Keller für Hardware-Support und Todd Gaul für Video-Support.

Diese Arbeit wurde teilweise vom Nationalen Zentrum für Forschungsressourcen des NIH mit der Nummer RR02170 unterstützt. Intel spendete großzügig Geräte, die für diese Forschung verwendet wurden. Anthony Steed wird vom europäischen ACTS-Projekt COVEN (Collaborative Virtual Environments) finanziert. Rui Bastos wurde von CNPq / Brasilien, PRAXIS, finanziert XXI und SGI.

VERWEISE

- Bowman, D., D. Koller und L. Hodges, 1997: „Reisen in immersiven virtuellen Umgebungen: Eine Evaluierung der Viewpoint Motion Control-Techniken“, Pro V. c *Jährliches internationales Symposium von l.rtual Reality*, Albuquerque, NM, *IEEE Computer Society*, 45-52.
- Brooks FP, Jr., J. Airey, J. Alsupgah, A. Bell, R. Brown, C. Hill, U. Nimscheck, P. Rheingans, J. Rohlf, D. Smith, D. Turner, A. Varshney, Y. Wang, H. Weber und X. Yuanet, 1992: „Sechs Generationen des Bauens von Walktuhgroh“, Technischer Abschlussbericht an die National Science Foundation (Nummer TR92-026), Institut für Informatik, Universität von North Carolina in Chapel Hill.
- Brooks, FP, Jr., 1986: „Walkthuro gh - Ein dynamisches Grafiksystem zur Simulation von virtuellen Gebäude“ *Proc. von 1986 ACM Workshop in interaktiver 3D-Grafik*, Chapel Hill, NC, Oktober 1986, 9-21.
- Christensen, R., JM Hollerbach, Y. Xu und S. Meek, „Inertial Force Feedback for a Fortbewegungsschnittstelle“ *Symp. on Haptic Interfaces, Proc., Abteilung für dynamische Systeme und Steuerung von ASME*, DSC-Vol. 64, Anaheim, CA, 15.-20. November 1998, 119-126.
- Cox, DR, 1970: *Analyse von Binärdaten*, London: Menthuen.
- Darken, RP, WR Cockaybe und D. Carmein, 1997: „The Omni-Directional Tilrle : adm Ein Fortbewegungsgerät für virtuelle Welten“ *Proc. von UIST'97*, Banff, Kanada, ACM Press, 14.-17. Oktober 1997, 213-221.
- Ellis, SR, 1996: „Geistesgegenwart: eine Reaktion auf Thomas Sheridans, 'Weitere Überlegungen weiter die Psychophysik der Gegenwart, P.' r“ *essence*, 5, 2: 247 & ndash; 259.
- Gibson, E. .. und RD Walk, 1960: „The Visual Clif S. f, c“ *ientific American*: 202: 64-71.
- Hertz, J. A. Krogh und RG Palmer, 199 *ich 1 nt: Einführung in die Theorie des Neuronalen Berechnung*, Addison-Wesley Verlag.
- Iwata, H, 1999: „Auf unendlichem Boden herumlaufen P,“ *roc. of Virtual Reality '99, März 13-17, Houston, Texas, IEEE Computer Society P.*, r 2 e 8 s 6 s- 293.
- Kennedy, RS, NE Lane, KS Berbaum und MG Lilienthal, 1993: „Ein Simulator Sickness Questionnaire (SSQ): Eine neue Methode zur Quantifizierung der Simulatorkrankheit“ *Internationale Zeitschrift für Luftfahrtpsychologie*, 3, 3: 203-220.
- Pausch, R., D. Proffitt und G. Williams1997: „Quantifizierung des Eintauchens in die virtuelle Welt Wirklichkeit.“ *Proc. von SIGGRAPH 97*, Computergrafik-Verfahren , gAnnual Conference Series, 1997, 13-18.
- Robinet, W. und R. Holloway, 1992: „Implementierung von Flying, Scaling und Grabbing in Virtuelle Welten,“ *Proc. des Symposiums 1992 über interaktive 3D-Grafik*, Computergrafik 25, 2: 189-192.
- Rothbaum, BO, LF Hodges und M. North, 1995: „Effektivität von Computer-Generierte (Virtual Reality) abgestufte Exposition bei der Behandlung von Akrophobie“ *American Journal of Psychiatry*, 152, 4: 626-628.
- Slater, M., A. Steed und M. Usoh, 1993: „The Virtual Treiall: dA mNaturalistische Metapher für die Navigation in immersiven virtuellen Umgebungen F,“ *erster Eurographics Workshop zur virtuellen Realität*, ed. M. Goebel, 71-86.
- Slater, M., M. Usoh und A. Steed, 1994: "Tiefe der Präsenz in virtuellen Umgebungen", *Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen*, MIT Press, 3, 2: 130-144.
- Slater, M., M. Usoh und A. Steed, 1995: „Schritte unternehmen: Der Einfluss eines Gehens Technik zur Präsenz in der Virtuellen Realität 4, C.“ *W trans. auf CHI*, Sonderausgabe am 2, 3: 201-219, September.
- Slater, M., A. Steed, J. McCarthy und F. Marinelli, "Der Einfluss der Körperbewegung auf Präsenz in virtuellen Umgebungen " *Human Factors: Das Journal der Human Factors und Ergonomie Gesellschaft*, 40, 3: September: 469-477.
- Slater, M., A. Steed, 1998: „Eine virtuelle Präsenzzählung se u r b,“ *zur Veröffentlichung vorgesehen*.
- Ward, M., R. Azuma, R. Bennett, S. Gottschalk und H. Fuchs, 1992: „A demonstriert Optischer Tracker mit skalierbarem Arbeitsbereich für am Kopf montiertes Anzeigesystem P. *ocn*..“ *des 1992 Symposium über interaktive 3D-Grafik*, Computergrafik 25, 2: 43-52.
- Welch, G. und G. Bishop, 1997: „SCAAT: Inkrementelle Verfolgung mit unvollständiger Information.“ *Proc. von SIGGRAPH 97*, Computergrafik-Verfahren , gAnnual Conference Series, 1997, 333 & ndash; 344.