

Entfernungswahrnehmung in immersiven virtuellen Umgebungen, überarbeitet

Victoria Interrante¹, Lee Anderson² und Brian Ries¹
¹ Abteilung für Computerwissenschaften ² Fakultät für Architektur

Universität von Minnesota

EIN BSTRACT

Zahlreiche frühere Studien haben gezeigt, dass Entfernungen in immersiven virtuellen Umgebungen, die über am Kopf montierte Anzeigesysteme dargestellt werden, im Vergleich zur realen Welt komprimiert zu sein scheinen. Die Hauptfaktoren, die für dieses Phänomen verantwortlich sind, sind jedoch weitgehend unbekannt geblieben. In diesem Artikel werfen wir ein neues Licht auf dieses faszinierende Problem, indem wir die Ergebnisse zweier kürzlich durchgeführter Experimente berichten, in denen wir die egozentrische Distanzwahrnehmung in einer immersiven virtuellen Umgebung mit hoher Wiedergabetreue, geringer Latenz bewerten, die eine exakte virtuelle Nachbildung des gleichzeitig besetzten Real des Teilnehmers darstellt Umgebung. Unter diesen neuartigen Bedingungen machen wir die überraschende Entdeckung, dass Fernwahrnehmung erscheint *nicht* in der immersiven virtuellen Umgebung im Vergleich zur realen Welt erheblich komprimiert werden.

CR-Kategorien und Fachbeschreibungen: I.3.7 [Computergrafik]: Dreidimensionale Grafik und Realismus.

Zusätzliche Schlüsselwörter: egozentrische Distanzwahrnehmung, immersive virtuelle Umgebungen.

1. Ich EINLEITUNG UND P. REVIOUS W. ORK

Die Technologie der immersiven virtuellen Umgebungen (IVE) ist ein vielversprechendes Instrument zur Erleichterung des Prozesses der architektonischen Gestaltung. Indem Benutzer ein 3D-Modell einer virtuellen Umgebung aus erster Hand erleben können, bevor es tatsächlich erstellt wird, können sie ihr Erfahrungsverständnis für die Metriken der entworfenen Räume verbessern. Viele neuere Studien haben jedoch Hinweise auf eine deutliche Komprimierung der egozentrischen Distanzwahrnehmung in immersiven virtuellen Umgebungen berichtet, die über am Kopf montierte Anzeigesysteme präsentiert werden

- in einigen Fällen bis zu 50% oder mehr, bezogen auf die Fernwahrnehmung in der realen Welt. Wahrnehmungsverzerrungen dieser Größenordnung könnten schwerwiegende Probleme für Anwendungen wie das architektonische Design darstellen, bei denen die genaue Wahrnehmung von Größe und Entfernung angenommen wird und wahrscheinlich kritisch ist. Motiviert durch das langfristige Ziel, das Potenzial immersiver virtueller Umgebungen zur Erleichterung des Prozesses des Konzeptentwurfs in der Architektur zu erforschen, haben wir uns auf den Weg gemacht, eine Reihe von Experimenten durchzuführen, um das Phänomen der Distanzkomprimierung in IVEs weiter zu untersuchen, mit dem Ziel, dies zu erreichen Einblick in mögliche Methoden zur besseren Erleichterung der Wahrnehmung wahrer Entfernungen in diesen Umgebungen. In diesem Artikel berichten wir über unsere ersten Ergebnisse aus diesen Experimenten.

Nahezu alle bisherigen Studien, in denen die Fernwahrnehmung in immersiven virtuellen Umgebungen mit der Fernwahrnehmung in der realen Welt verglichen wurde [27, 26, 19, 2, 24, 8, 21, 14, *et al.*] haben Beweise dafür gefunden, dass Entfernungen in virtuellen Umgebungen als komprimiert wahrgenommen werden. Obwohl erhebliche Anstrengungen unternommen wurden, um die Ursachen dieser Effekte zu identifizieren, blieben die Hinweise auf eine Entfernungskomprimierung unter einer Vielzahl von Anzeige- und Technologiebedingungen bestehen. Frühere Studien haben eine bedeutende Rolle für eine Vielzahl physikalischer Faktoren ausgeschlossen, wie z. B. das begrenzte Sichtfeld, das in einem am Kopf montierten Display im Vergleich zur realen Welt zur Verfügung steht [13, 3], und zwar Willemsen *et al.* [25] haben Beweise dafür gefunden, dass Probleme im Zusammenhang mit

Die Ergonomie von am Kopf montierten Anzeigesystemen kann einen Teil der beobachteten scheinbaren Kompression ausmachen. Eine Erklärung für den größeren Teil des Effekts bleibt jedoch mangelhaft. In der bedeutendsten jüngsten Entdeckung, Thompson *et al.* [21] haben gezeigt, dass die „grafische Qualität“ der virtuellen Umgebung den beobachteten Effekt ebenfalls nicht erklären kann.

Wir stellen jedoch fest, dass in allen früheren Studien zu dieser Frage, die uns bis auf eine bekannt sind ([14]), die präsentierte virtuelle Umgebung einen Raum dargestellt hat, der nicht dem Raum entspricht, in dem sich der Benutzer tatsächlich physisch befindet während des Experiments vorhanden. Dies erhöht die Möglichkeit, dass das Problem der Distanzkompression einige seiner Wurzeln in der kognitiven Interpretation des visuellen Reizes hat. Zum Beispiel, wenn Teilnehmer a erleben *kognitive Dissoziation* zwischen der virtuellen Welt, die sie sehen, und der realen Welt, die sie besetzen, dh wenn sie nicht mit eindeutiger Sicherheit glauben, dass die beiden Umgebungen ein und dieselbe sind, ergibt sich das Ergebnis *Mangel an Präsenz* könnte Auswirkungen auf die Teilnehmer haben *umsetzbare Interpretation* der Entfernungen, die sie wahrnehmen. So wie wir beim Anschauen eines Films gerne den Standpunkt der Kamera als unseren eigenen übernehmen, ohne zu berücksichtigen, wie wir diese Position eingenommen haben könnten, kann man sich vorstellen, dass wir eine Umgebung über zwei platzierte Displays betrachten, die platziert sind Vor unseren Augen werden wir möglicherweise nicht automatisch die gleichen metrischen Interpretationen für diese künstlich beobachtete Umgebung verwenden wie für die reale Welt - zumindest nicht, bis wir darauf vertrauen können, dass die beiden funktional gleichwertig sind. Indem sie die Wahrnehmung egozentrischer Entfernungen durch die Teilnehmer in einer immersiven virtuellen Umgebung mit hoher Wiedergabetreue bewerten, die sie sicher als getreue Darstellung ihres tatsächlichen, besetzten Raums akzeptieren können,

Es gibt viele mögliche Methoden, mit denen die Wahrnehmung der Distanz einer Person beurteilt werden kann. Der konzeptionell einfachste Ansatz besteht darin, dass Personen verbale Schätzungen der Entfernung zwischen sich und einem Zielort vornehmen. Zahlreiche Studien haben jedoch gezeigt, dass mündliche Berichte im Allgemeinen weniger genau sind als handlungsbasierte Metriken [15, 12, *et al.*]. Die am häufigsten verwendete handlungsbasierte Metrik zur Beurteilung der egozentrischen Distanzwahrnehmung ist das „blinde Gehen“. Zahlreiche Studien haben bestätigt, dass Menschen in zügigem Tempo und ohne Sehvermögen genau zu zuvor gesehenen Zielen gehen können [z. B. 17]. Alternative handlungsbasierte Metriken sind das „triangulierte Gehen“ [7], das etwas weniger zuverlässig ist als das blinde Gehen, das jedoch mit relativer Genauigkeit zur Beurteilung der Wahrnehmung sehr großer Entfernungen auf engstem Raum verwendet werden kann, und das „blinde Werfen“ [18] wurde erfolgreich eingesetzt, um Bedenken auszusräumen, dass die experimentell beobachteten Anzeichen einer Distanzkompression Artefakte sein könnten, die von Teilnehmern verursacht wurden, die unbewusst zögerten, sicher und ohne Sicht zu gehen, aus Angst, gegen ein Hindernis zu stoßen. Auch Plumert *et al.* [16] haben kürzlich eine neue, subjektive handlungsbasierte Metrik zur Bewertung der Wahrnehmung sehr großer Entfernungen ohne Gehen eingeführt, bei der die Teilnehmer eine Stoppuhr verwenden, um ihr geschätztes Gehen anzuzeigen

IEEE Virtual Reality 2006
25. - 29. März, Alexandria, Virginia, USA
1-4244-0224-7 / 06 / \$ 20.00 © 2006 IEEE

Zeit zu einem Ziel. Nichtsdestotrotz bleibt blindes Gehen die genaueste, zuverlässigste und allgemein akzeptierte Metrik zur Beurteilung der wahrgenommenen Entfernungen in Räumen, in denen es möglich ist, das angegebene Intervall direkt zu durchlaufen, und dies ist daher die Metrik, die wir für unsere Experimente ausgewählt haben.

2. EXPERIMENT 1

Die beiden Ziele unseres ersten Experiments waren: die Fernwahrnehmung unter Umständen zu untersuchen, bei denen keine Möglichkeit einer kognitiven Dissonanz besteht, die mit der Darstellung der präsentierten virtuellen Umgebung von der besetzten realen Umgebung verbunden ist, und zu prüfen, ob Benutzer haptisches Feedback über kurze Entfernungen erhalten. Das Vorhandensein, die Größe und die räumliche Position eines realen Objekts in der virtuellen Umgebung in Kombination mit der Möglichkeit, die präsentierte virtuelle Umgebung im Kontext der Ausführung einer ansprechenden und einigermaßen unterhaltsamen Aufgabe nur mäßig zu erleben, können die Benutzer zusammen verbessern. Fähigkeit, die egozentrische Distanz in der virtuellen Umgebung genau zu beurteilen.

2.1 Methode

Wir haben ein Design innerhalb von Fächern mit zwei verwendet *Umgebung* Bedingungen: reale Welt und virtuelle Welt und zwei *Exposition* Bedingungen: Baseline- und Post-VE-Erfahrung. Die Entfernungswahrnehmung wurde durch blindes Gehen über drei verschiedene feste Pfade mit einer Länge von 10 Fuß, 20 Fuß und 30 Fuß bewertet. Während der Testphase des Experiments wurde zu keinem Zeitpunkt eine Rückmeldung gegeben.

2.1.1 Gerät

Alle Tests fanden im Digital Design Lab auf dem Campus der University of Minnesota statt. Zum Zeitpunkt unseres ersten Experiments betrugen die ungefähren Abmessungen dieses Raums 30 x 32 Zoll. Während des Versuchs wurden die zu überquerenden Pfade durch feste Klebebandmarkierungen auf dem Boden angezeigt, die rechtwinklig zur Richtung des Pfades ausgerichtet waren und sich am Anfang und Ende der Pfade befanden. Die Bandmarkierungen wurden sowohl in der realen als auch in der virtuellen Umgebung an denselben Stellen dargestellt. Die drei Pfade überlappten sich nicht und zwischen dem Ende eines Pfades und einem Hindernis in der Umgebung wie einer Wand oder einem Bücherregal wurde ein Pufferabstand von mindestens acht Fuß eingehalten. Die Teilnehmer mussten Ohrstöpsel tragen, um die Erfassung von akustischen Hinweisen in der Umgebung zu verhindern, und unter realen Bedingungen

Die virtuelle Umgebung wurde als eine Reihe von texturabgebildeten Polygonen modelliert, wobei die Texturkarten aus einem Mosaik digitaler Fotografien der Wände, der Decke und des Bodens des Raums stammen. Alle Boden- und Wandbefestigungen waren originalgetreu vertreten *vor Ort* über die Texturkarten; Das Relief, das mit Details wie Türknöpfen, Scharnieren und Vorhängen verbunden war, blieb jedoch nicht erhalten. Es gab eine minimale Menge an Möbeln und Computerausrüstung, die an zwei Wänden im realen Raum anliegen, und diese waren im virtuellen Modell nicht enthalten. Abbildung 1 zeigt drei Screenshots des virtuellen Raums aus verschiedenen Blickwinkeln, ähnlich denen, die ein Teilnehmer mit dem am Kopf montierten Display gesehen haben könnte. Unter der Bedingung der haptischen Exposition über kurze Entfernungen mussten die Teilnehmer ein immersives Modellierungssystem verwenden, um ein einfaches virtuelles Modell zu replizieren, das sich auf einem Tisch befand, der sowohl in der realen als auch in der virtuellen Umgebung vorhanden war. Informationen zu unserem Modellierungssystem finden Sie in [1] und werden hier nicht wiederholt. Abbildung 2 zeigt einen Screenshot des virtuellen Raums mit dem Tisch und einem virtuellen Modell.

Die virtuelle Umgebung wurde mithilfe des von nVis hergestellten nVisor SX-Head-Mounted-Displays präsentiert, das jedem Auge über 60 ein separates Bild mit einer Auflösung von 1280 x 1024 bietet ° diagonales monokulares Sichtfeld (ca. 2,2 Bogenminuten pro Pixel)

mit 100% Stereoüberlappung. Am HMD angebrachte Schaumblinder blockierten jegliche periphere Sicht auf die äußere Umgebung. Das Gerät wog ungefähr 1 kg und war zum Zeitpunkt dieses Experiments mit einem Satz 10-Zoll-Kabel an einer Videosteuerereinheit befestigt, die wir auf einem kurzen Radwagen montiert hatten, der durch Ziehen an den Kabeln herumgezogen werden konnte. Während des Experiments haben wir den Kopf sowohl vom Gewicht der Kabel als auch vom Ziehen des Wagens entlastet, indem wir die Kabel für jeden Teilnehmer von einem Assistenten verwalten ließen, um deren Anwesenheit transparent zu machen. Abbildung 3 zeigt, wie diese Situation in der Praxis aussieht. Der für die Bilderzeugung verwendete Blickwinkel wurde in Echtzeit gemäß einer Eingabe bestimmt, die mit einer Rate von etwa 500 Hz von einem von 3 hergestellten optischen Decken-Tracker HiBall 3000 bereitgestellt wurde. Technik. Positionsaktualisierungen für das Zeigergerät wurden mit einer ähnlichen Rate bereitgestellt. Abbildung 4 zeigt einen unserer Teilnehmer, der mit dem Zeiger ein virtuelles Modell erstellt.



Abbildung 1: Screenshots des in unserem ersten Experiment verwendeten virtuellen Raummodells. Die Blackboxen auf dem Boden sind überdachte Steckdosen für Elektro- und Ethernet-Verbindungen. Die weißen Markierungen sind texturabgebildete Darstellungen des Abdeckbandes, mit denen die Start- und Endpositionen der Zielentfernungsintervalle angegeben werden.

2.1.2 Teilnehmer

In dieser ersten Studie haben wir Daten von sieben naiven Teilnehmern gesammelt; drei waren weiblich und vier waren männlich. Zwei waren Absolventen

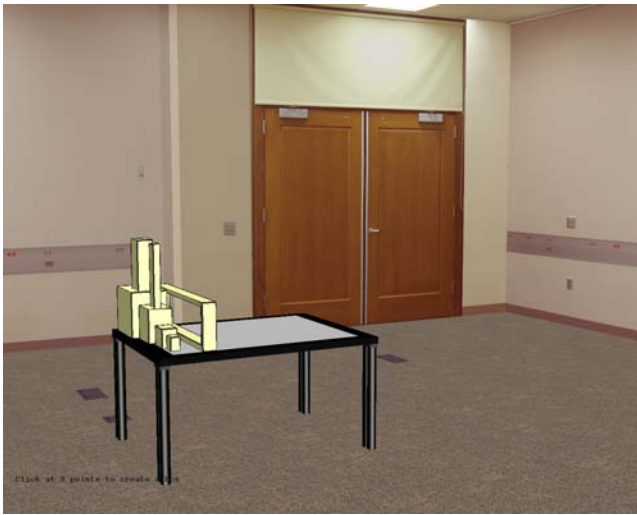


Abbildung 2: Ein Screenshot des virtuellen Raums im haptischen Kurzstrecken-Feedback-Zustand. Während dieses Teils des Experiments war ein entsprechender realer Tisch im realen Raum an derselben abgebildeten Stelle vorhanden.



Abbildung 3: Ein Foto eines Teilnehmers am Startpunkt des 30-Minuten-Abstandsintervalls, der das am Kopf montierte Display und den Tracking-Sensor trägt, wobei ein Assistent die Kabel verwaltet. Der zweite Sensor, der während der Gehversuche nicht verwendet wird, ruht auf der am Wagen montierten Videosteuerereinheit. Auf dem Boden rechts von der Videosteuerereinheit sind Bandmarkierungen zu sehen, die die Startpunkte der Intervalle von 10' und 20' angeben.



Abbildung 4: Ein Foto eines Teilnehmers, der das immersive Modellierungssystem im haptischen Rückkopplungszustand mit kurzer Reichweite verwendet.

Studenten des Fachbereichs Architektur und fünf Absolventen des Fachbereichs Informatik. Sie wurden alle über informelle Kontakte rekrutiert und mit 20-Dollar-Geschenkgutscheinen für ihre Bemühungen entschädigt. Keiner der Teilnehmer hatte signifikante IVE-Erfahrungen und alle waren naiv gegenüber den Hypothesen, die der Studie zugrunde lagen. Die Teilnehmer waren zwischen 23 und 30 Jahre alt, mit einem Durchschnittsalter von etwa 25 Jahren, und alle hatten ein normales oder normales Sehvermögen. (Zwei der Teilnehmer trugen normalerweise eine Brille und hielten sie während aller Teile des Experiments an.)

2.1.3 Vorgehensweise

Vor dem Testen absolvierten die Teilnehmer 15 Übungswanderungen mit Rückmeldung in einem Kellerflur. Obwohl frühere Studien weder mit noch ohne Rückmeldung einen signifikanten Einfluss auf die Leistung früherer Übungen festgestellt hatten [5], haben wir beschlossen, eine Übungsphase einzuschließen, damit wir sicher sein können, dass unsere Teilnehmer mit der Ausführung der Aufgabe zufrieden sind und dass nein man wäre voreingenommen, aus Vorsicht „kurz zu gehen“. Aus Gründen der Konsistenz waren die Entfernungen, die wir für die Übungswanderungen verwendet haben, dieselben wie die Entfernungen, die wir bei den Tests verwendet haben. Das Verfahren für die Übungsphase war dem Verfahren für die Testphase ähnlich, außer dass die Teilnehmer in der Übungsphase fünf aufeinanderfolgende Spaziergänge über jede Strecke (5 x 10', dann 5 x 20', dann 5 x 30') durchführten, anstatt sie in verschachtelter Reihenfolge durchzuführen. Die Teilnehmer wurden angewiesen, das Ende ihrer Zehen an der Startposition zu positionieren, die Zielentfernung zu visualisieren, dann die Augen zu schließen, sie mit der bereitgestellten Augenbinde zu bedecken und zu dem Ort zu gehen, an dem sie den Zielort vermuteten. Obwohl eine frühe Studie [22] einen signifikanten Effekt auf die Leistung des Kurzzeitgedächtnisses für einen Ort vorschlug, haben andere Forscher [z. B. 20] nicht festgestellt, dass dies ein signifikanter Faktor ist. Daher haben wir nicht versucht, eine bestimmte Verzögerung zwischen dem Abschalten des visuellen Reizes und dem Beginn des Gehens des Teilnehmers zu erzwingen. Während der Trainingsphase konnten die Teilnehmer am Ende ihres Spaziergangs die Augenbinde entfernen, um zu sehen, wie nahe sie dem Ziel gekommen waren. Während der Testphase führten wir die Teilnehmer auf zufälligen Umwegen durch den Raum zum nächsten Startort. In dem Versuch, sie zu desorientieren und die Möglichkeit zu verringern, dass sie eine Vorstellung von der Genauigkeit ihrer Leistung bekommen. Während der Testphase haben wir vier wiederholte Messungen von jedem Teilnehmer für jedes Distanzintervall unter jeder Bedingung gesammelt. Innerhalb jeder Bedingung durchquerten die Teilnehmer die Pfade in verschachtelter Reihenfolge (zuerst den 10'-Pfad, dann den 20'-Pfad, dann den 30'-Pfad, dann erneut den 10'-Pfad usw.).

Die erste getestete Bedingung war die reale Grundbedingung. In diesem Zustand haben wir die verstrichene Zeit für jeden Spaziergang mit einer Stoppuhr gemessen und die zurückgelegte Strecke von der markierten Startposition bis zu einem Punkt gemessen, der mit den Zehenspitzen der Teilnehmer ausgerichtet, aber zu einer Seite versetzt ist. Alle Teilnehmer führten die Trainings- und Basisversuche nacheinander durch.

Die zweite getestete Bedingung war die VR-Grundbedingung. In diesem Zustand wurde den Teilnehmern geholfen, ihre Füße durch verbale Befehle an den markierten Startorten zu positionieren (da wir nicht über die Mittel verfügten, um die tatsächlichen Fußpositionen der Menschen virtuell darzustellen). Zu Beginn jedes Versuchs wurden die Teilnehmer angewiesen, das Ziel zu betrachten und dann zu signalisieren, wann sie bereit waren. Beim Bereitschaftszeichen sollten sie die Augen schließen und dorthin gehen, wo sie das Ziel für möglich hielten. Während ein Autor die Kabel verwaltete, saß ein anderer Autor an der Steuerung des Computers, der das HMD ansteuerte, und drückte die Tasten, um die Start- und Endpositionen und -zeiten für jeden Spaziergang aufzuzeichnen (ein einziger Tastendruck zeichnete sowohl Position als auch Zeit auf). Gleichzeitig mit der Aufnahme der Startposition würden wir auch den Bildschirm verdunkeln, um zu verhindern, dass der Teilnehmer beim Gehen versehentlich visuelle Eingaben erhält. Ein zweiter Tastendruck zeichnete die

Halteposition, ließ aber den Bildschirm schwarz, so dass nichts verschenkt wurde, selbst wenn der Teilnehmer vergaß, die Augen geschlossen zu halten. Ein dritter Tastendruck wurde verwendet, um die Sichtbarkeit wiederherzustellen, nachdem der Assistent den Teilnehmer auf einem Umweg von seiner Halteposition weggeführt und in die Ausgangsposition des nächsten Versuchs gebracht hatte.

Die dritte Bedingung war die VR-Bedingung nach dem Eintauchen. Zu Beginn dieser Versuchsphase wurde im Raum ein virtueller Tisch angezeigt, der genau mit dem Standort eines realen Tisches registriert war. Auf dem Tisch wurde ein virtuelles Modell angezeigt, und nach einer kurzen Einweisung in die Verwendung unseres immersiven Modellierungssystems wurde der Teilnehmer gebeten, 10 Minuten mit der Software zu arbeiten, um eine Kopie des Modells auf dem Tisch daneben zu erstellen, gefolgt von "Free Play"-Aktivitäten mit dem Modellierungssystem an einer anderen Stelle im Raum. Die Teilnehmer wurden ermutigt, den Tisch zu erreichen und zu berühren und beim Kopieren des Modells zu verschiedenen Seiten des Tisches zu gehen. Wenn sie anfangen, in eine Richtung zu gehen, in der sich die Kabel um die Tischbeine wickelten, wurden sie aufgefordert, stattdessen in die entgegengesetzte Richtung zu gehen. Unsere Hypothese war, dass die haptische Interaktion mit der realen Tabelle ziemlich robuste Hinweise auf egozentrische und exozentrische Entfernungen im Nahbereich liefern könnte. Daher haben wir diese Bedingung einbezogen, um zu beurteilen, inwieweit die Teilnehmer solche Informationen verwenden können, um etwaige Fehlwahrnehmungen zu korrigieren. Möglicherweise hatte das IVE größere Entfernungen. Da frühere Untersuchungen [9] darauf hingewiesen hatten, dass eine haptische Interaktion mit realen Objekten das Präsenzgefühl eines Teilnehmers im IVE verbessern könnte, haben wir unter dieser Bedingung auch versucht zu bestimmen, ob die Entfernungsbeurteilungen der Teilnehmer genauer werden könnten, als sie sich selbst fühlten mehr in die IVE eintauchen. Nach 10 Minuten intensiver Designerfahrung wurde die Anzeige zurückgesetzt, um die Anzeige der Tabelle und aller erstellten Modelle zu entfernen, und um die Anzeige der Abstandsmarkierungen auf dem Boden wiederherzustellen. Gleichzeitig wurde der physische Tisch aus dem Raum entfernt und der Teilnehmer wurde gebeten, weitere 12 Gehversuche über die angegebenen Entfernungen durchzuführen.

Die vierte Bedingung war die reale Weltbedingung nach dem Eintauchen. Unmittelbar nach Abschluss der Versuche für Bedingung 3 wurden die Teilnehmer beim Entfernen des HMD unterstützt und erhielten mit geschlossenen Augen die Augenbinde und wurden gebeten, die Gehversuche noch einmal zu wiederholen, diesmal im realen Raum. Der Zweck dieser Bedingung bestand darin, das Ausmaß einer Anpassung zu bewerten, die möglicherweise aufgrund des visuellen und haptischen Feedbacks aufgetreten ist, das die Teilnehmer durch ihre Erfahrungen in Bedingung 3 erhalten haben. Weil wir besorgt waren, dass sich die Anpassung an komprimierte Entfernungen nachträglich auswirkt in der IVE konnte schnell verschwinden, wir achteten darauf, dass die Teilnehmer keine sehenden Spaziergänge zwischen den 3. und 4. Bedingungen.

Drei Teilnehmer absolvierten die Versuche für alle Bedingungen nacheinander am selben Tag. Dies dauerte typischerweise etwa 1,5 Stunden. Die Teilnehmer wurden aufgefordert, zwischen den einzelnen Bedingungen mit Ausnahme von 3 und 4 Ruhepausen einzulegen. Zwei Teilnehmer machten eine Verzögerung von 1 oder 2 Tagen zwischen dem Basis-RW- und dem Basis-VR-Test und zwei eine 1 oder 2-tägige Verzögerung zwischen dem Basis-VR und VR-Tests nach dem Eintauchen aus verschiedenen Planungsgründen. Es gibt keinen Grund zu der Annahme, dass eine dieser Abweichungen in der Planung Auswirkungen auf die Ergebnisse hatte.

2.2 Ergebnisse

Die Abbildungen 5-6 zeigen die Gesamtergebnisse unseres ersten Experiments, zusammengefasst über alle Teilnehmer. Die Fehlerbalken begrenzten das 95%-Konfidenzintervall. In Abbildung 5 sehen wir, dass bei jeder der beiden VR-Bedingungen eine geringfügige Abstandskomprimierung auftritt, die mit der Zielentfernung zunimmt. Das Ausmaß der Komprimierung scheint in der Basis-VR etwas größer zu sein.

VirtualEnvironment Results (Baseline, PostExperience)

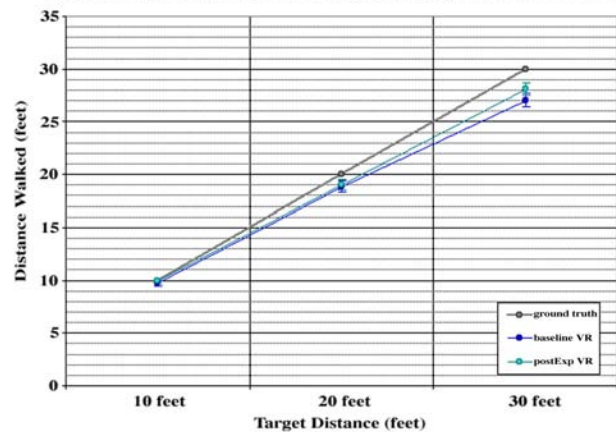


Abbildung 5: Gehbare Entfernung vs. Zielentfernung über die beiden VR-Bedingungen unter Verwendung gepoolter Ergebnisse aller Teilnehmer.

RealWorld Results (Baseline, PostVRExperience)

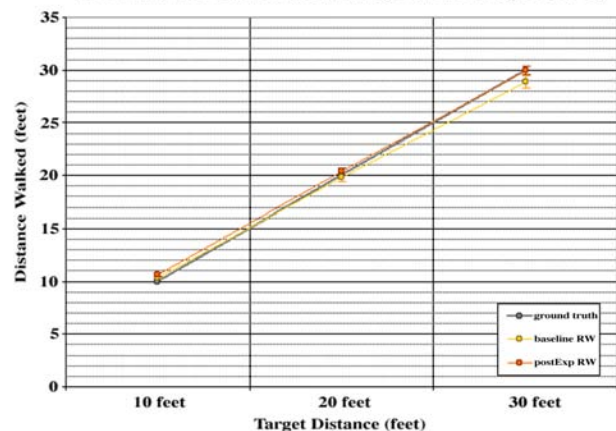


Abbildung 6: Gehbare Entfernung vs. Zielentfernung unter den beiden Bedingungen der realen Welt unter Verwendung gepoolter Ergebnisse aller Teilnehmer.

Zustand als im VR-Zustand nach dem Eintauchen. Auffällig ist jedoch, dass die in beiden Fällen beobachteten Entfernungskomprimierungsbeträge bemerkenswert gering sind, insbesondere im Vergleich zu den in früheren Studien beobachteten Entfernungskomprimierungsbeträgen. In Abbildung 6 können wir marginale Hinweise auf ein leichtes Überschwingen der Entfernungsschätzung im Vergleich zur Basislinie im realen Zustand nach dem Eintauchen beobachten. Wiederum ist das Ausmaß des Effekts jedoch sehr gering.

Fig. 7 zeigt eine Nahansicht der Unterschiede in den zurückgelegten Abständen zwischen den vier Versuchsbedingungen. Wir sehen in der oberen linken Grafik, dass es einen kleinen, aber statistisch signifikanten Unterschied in den durchschnittlichen Entfernungen gibt, die im VR-Grundzustand zurückgelegt wurden, im Vergleich zum realen Grundzustand, in Übereinstimmung mit früheren Befunden, dass Menschen dazu neigen, „kürzer zu gehen“. In immersiven virtuellen Umgebungen, die über am Kopf montierte Displays dargestellt werden, als dies in der realen Welt der Fall ist. In der unteren linken Grafik sehen wir, dass es auch einen ähnlich kleinen, aber statistisch signifikanten Unterschied in den durchschnittlichen Entfernungen gibt, die in der realen Welt unmittelbar nach dem Eintauchen für einen bestimmten Zeitraum in die virtuelle Umgebung zurückgelegt werden, ergänzt durch haptisches Feedback im Vergleich zu in der realen Grundbedingung,

länger 'in der realen Welt als Nachwirkung. Unten rechts sehen wir, dass es einen kleinen, aber statistisch signifikanten Leistungsunterschied bei der Blind-Walking-Aufgabe im VR-Zustand nach der moderaten Eintauchperiode in Kombination mit einigen lokalen haptischen Rückkopplungen gibt, jedoch nur für das Distanzintervall mit größerer Reichweite. In der Grafik oben rechts sehen wir, dass dies dazu führt, dass im IVE-Zustand nur für das Intervall mit der größten Reichweite Ergebnisse erzielt werden, die im realen Zustand effektiv nicht von den Basislinienergebnissen zu unterscheiden sind.

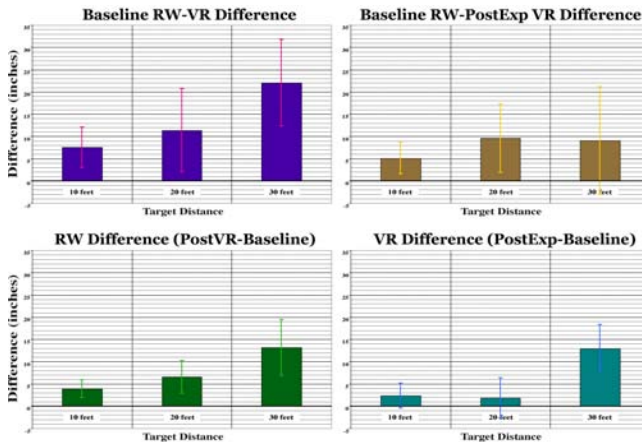


Abbildung 7: Leistungsunterschiede unter verschiedenen Bedingungen.

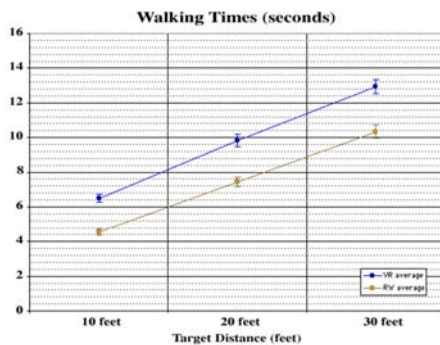


Abbildung 8: Ein Vergleich der Zeit, die zum Durchqueren der drei Entfernungintervalle mit blindem Gehen in der realen Welt und in der virtuellen Welt benötigt wird.

Neben der Berücksichtigung der zurückgelegten Entfernungen haben wir auch die Geschwindigkeit des Gehens unter den verschiedenen Bedingungen untersucht. Abbildung 8 zeigt unsere Ergebnisse. Die Teilnehmer durchliefen die drei Intervalle mit ähnlichen Raten, gingen jedoch unter den Bedingungen der virtuellen Umgebung insgesamt deutlich langsamer.

Wir haben unsere Ergebnisse auch mit ANOVA analysiert. Wir fanden signifikante Haupteffekte des Teilnehmers ($p < 0,01$), der Umgebung (RW vs. VR; $p < 0,01$) und des Entfernungintervalls ($p < 0,01$) auf die vorzeichenbehafteten Fehlerraten (tatsächlich zurückgelegte Entfernung minus Zielentfernung), aber keine signifikante Haupteffekt Erfahrungseffekt (Grundlinie vs. Postimmersion) ($0,05 < p < 0,1$). Wir haben paarweise Vergleiche zwischen Teilnehmern unter Verwendung der Tukey's Honestly Significant Difference-Methode berechnet, aber wir haben in dieser Analyse nichts Aufschlussreiches gesehen. Verschiedene Untergruppen von Teilnehmern hatten eine statistisch ähnliche Leistung, und die Leistung zwischen allen Untergruppen überlappte sich stark.

Motiviert durch einige Bedenken hinsichtlich möglicher Unterschiede im räumlichen Bewusstsein zwischen Männern und Frauen, untersuchten wir unsere Ergebnisse getrennt für die männlichen und weiblichen Teilnehmer. Es wurden jedoch keine signifikanten Unterschiede in den Ergebnissen festgestellt.

zwischen diesen beiden Gruppen. Es sei darauf hingewiesen, dass wir nicht beabsichtigten, das mögliche Ausmaß von Unterschieden im räumlichen Bewusstsein zwischen den Geschlechtern direkt zu untersuchen. Dieser statistische Test wurde nur durchgeführt, um mögliche Bedenken auszuräumen, dass unsere Ergebnisse ein Artefakt eines ungleichmäßigen Gleichgewichts zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmern sein könnten. Wir haben ähnliche Tests durchgeführt, um das Potenzial verwirrender Effekte aufgrund des Hintergrunds (Architektur vs. Informatik) auszuschließen.

2.3 Diskussion

Das interessanteste Ergebnis unserer ersten Studie war, dass wir in den immersiven virtuellen Umgebungen sowohl unter den Ausgangsbedingungen als auch nach der Erfahrung eine geringere als erwartete Distanzkomprimierung beobachteten. Unsere unmittelbare Interpretation bestand darin, diese Entdeckung als Bestätigung der Hypothese zu betrachten, dass wir durch die Schaffung unserer virtuellen Umgebung als exakte Nachbildung der gleichzeitig besetzten realen Umgebung der Benutzer anscheinend einen der Hauptfaktoren entfernt hatten, die zu den Angaben beigetragen hatten der Abstandskomprimierung, die in den vorherigen Experimenten von anderen gefunden wurden, und wir waren sehr ermutigt von den möglichen Auswirkungen dieses Befundes auf die Aussichten, VR effektiv für architektonische Entwurfsanwendungen einzusetzen.

Wir mussten jedoch bald überlegen, ob es möglicherweise nur einige Verwirrungen in den Details unseres experimentellen Verfahrens waren, die dazu führten, dass wir so viel weniger Hinweise auf eine Distanzkomprimierung fanden als in früheren Studien anderer Forscher. Wir haben zwei mögliche Verwirrungen identifiziert. Das erste ist, dass wir das Training mit Feedback über dieselben Distanzintervalle durchgeführt haben, die wir unter den Testbedingungen verwendet haben. Obwohl frühere Studien, die speziell darauf abzielten, die Auswirkungen des Trainings mit Feedback im Gegensatz zum Training ohne Feedback auf die Leistung in Blind-Walking-Versuchen zu untersuchen, keinen signifikanten Effekt aus der Bereitstellung von Feedback ergaben [5], stellten wir fest, dass diese Studien Intervalle verwendet hatten von unterschiedlicher Länge in der Test- und Übungsphase. Es gab also keine Möglichkeit, sicher zu sein, dass die Auswirkungen des Trainings in Fällen, in denen Intervalle gleicher Länge sowohl für Tests als auch für das Training verwendet wurden, notwendigerweise gleich gut sind. Obwohl wir gezwungen waren, die Möglichkeit in Betracht zu ziehen, dass das Training einen gewissen motorischen Lerneffekt hätte haben können, hielten wir dies nicht für wahrscheinlich, da frühere Studien, die die Fähigkeit zur Reproduktion zurückgelegter Entfernungen untersuchten, allein auf der Grundlage der unmittelbar kürzlich erhaltenen Informationen zum Bewegungsapparat allein beruhten. hatten festgestellt, dass die Teilnehmer diese Informationen nicht genau nutzen konnten, sondern eher kurze Entfernungen (2 m) überschätzten und längere Entfernungen (bis zu 10 m) unterschätzten [11]. Die zweite mögliche Verwirrung, die wir in unserem ersten Experiment festgestellt haben, war, dass unsere Teilnehmer dieselben drei Gehaufgaben wiederholt unter all den verschiedenen Bedingungen ausführen mussten. Daher konnten wir nicht ausschließen, dass die Teilnehmer im Verlauf des Experiments Lerneffekte hatten, obwohl sie kein Feedback zu ihrer Leistung erhielten. Daher müssten wir einige Folgeexperimente durchführen, um diese beiden möglichen Verwechslungen auszuschließen.

3. EXPERIMENT 2

Das Hauptziel dieses Folgeexperiments war es zu bestimmen, ob unser Hauptergebnis - dass die Teilnehmer in einer hochqualitativen immersiven virtuellen Umgebung, von der sie wussten, dass sie genau zu ihrer tatsächlich besetzten realen Umgebung passt, keine tiefgreifende Entfernungskomprimierung zu erfahren schien - weiterhin bestehen bleibt beibehalten, nachdem wir alle möglichen methodischen Verwirrungen korrigiert haben.

3.1 Methode

In diesem Experiment verwendeten wir ein gemischtes experimentelles Design mit zwei unabhängigen Variablen. Nach wie vor ist die Variable innerhalb der Subjekte variabel

war *Umgebung*: ob die Entfernungsurteile in der realen Welt oder in der virtuellen Welt getroffen wurden. Die Handhabung dieser Funktion als Teilmaßnahme ermöglichte es uns, für jeden Einzelnen ein Kontrollleistungsniveau festzulegen. Die Variable zwischen den Subjekten war *Exposition* (ob Entfernungsurteile zuerst in der realen Welt oder zuerst in der virtuellen Welt getroffen wurden). Die Teilnehmer haben vor dem Testen keine Schulung absolviert, und es wurde zu keinem Zeitpunkt ein Feedback an einen Teilnehmer über seine Leistung gegeben.

3.1.1 Gerät

Nach wie vor fanden alle Tests in unserem Labor statt und verwendeten die gleichen Tracking- und Anzeigegeräte. Zum Zeitpunkt unseres Folgeexperiments war die Länge der Kabel, die das am Kopf montierte Display mit dem Videocontroller verbinden, jedoch auf 15 Minuten erhöht worden, und unser Raum war so umkonfiguriert worden, dass ein großes, nach hinten projiziertes, gekrümmtes Bildschirmangebot untergebracht war, was sich verringerte Die Abmessungen des offenen Raums sind in der Mitte 30 'lang x 25' breit und verjüngen sich zu 16,5 'breit an den Rändern. Die Länge der längsten ungehinderten Diagonale betrug jetzt ungefähr 34 ', was die maximale Entfernung, über die wir das Gefühl hatten, dass wir Menschen bequem bitten könnten, blind zu gehen, auf 25' begrenzt, um zwischen dem Ende des Distanzintervalls und viel Platz zu lassen jede Wand. Aufgrund der Änderungen am realen Raum mussten wir ein neues virtuelles Raummodell erstellen, das nach wie vor eine geometrisch und fotografisch exakte Nachbildung der realen Umgebung ohne die Möbel darstellt. Die Abbildungen 9 und 10 zeigen ein Foto des neuen realen Raums und einen Screenshot eines neuen virtuellen Raums aus ähnlichen Blickwinkeln. Um zu verhindern, dass möglicherweise akustische Signale für den Standort in der Umgebung erfasst werden, trugen die Teilnehmer ein kleines tragbares Radio, das auf statische Wiedergabe abgestimmt war.

Im Verlauf unserer ersten Studie hatten wir festgestellt, dass die am Kopf montierte Displayoptik des nVisorSX eine moderate Verzerrung der Nadelkissen verursacht. Für unsere Folgestudie haben wir Schritte unternommen, um diese Verzerrung mit einem ähnlichen Ansatz wie dem in [23] beschriebenen zu korrigieren. Wir haben den Inhalt des Bildpuffers in Echtzeit auf eine sorgfältig kalibrierte konvexe Oberfläche texturiert und so ein tonnenverzerrtes Bild erzeugt. Wenn dieses vorverzerrte Bild über das am Kopf montierte Display betrachtet wurde, wurden die gleichen, aber entgegengesetzten Verzerrungen aufgehoben, wodurch eine genaue Wahrnehmung der wahren Geometrie der Szene ermöglicht wurde.

3.1.2 Teilnehmer

Für diesen Teil der Folgestudie haben wir zehn neue Teilnehmer von der University of Minnesota und der Minneapolis Community rekrutiert. Ihr Alter lag zwischen 20 und 45 Jahren, darunter 4 Frauen und 6 Männer. Vier dieser Teilnehmer waren Studenten des Fachbereichs Architektur, zwei Absolventen des Fachbereichs Informatik und der Rest Berufstätige aus der örtlichen Gemeinde. Nur einer der Teilnehmer war zuvor in unserem Labor gewesen, und er wurde der realen Expositionsbedingung zugeordnet. Alle Teilnehmer wurden für ihre Bemühungen mit Geschenkgutscheinen im Wert von 10 USD entschädigt.

3.1.3 Vorgehensweise

Alle Teilnehmer, unabhängig von der Expositionsgruppe, der sie zugeordnet waren, betraten zunächst unser Labor und füllten ein Einverständnisformular aus, in dem das zu befolgende experimentelle Verfahren erläutert wurde. Dieser Vorgang dauerte ca. 2 Minuten. Die Teilnehmer hatten vor dem Testen keine Gelegenheit, im Raum herumzulaufen. Jeder Teilnehmer wurde dann gebeten, 30 Versuche mit blindem Gehen durchzuführen: 10 in der realen Umgebung und 20 im entsprechenden virtuellen High-Fidelity-Modell derselben Umgebung. Die Hälfte der Teilnehmer führte zuerst die Versuche in der realen Welt durch. Die andere Hälfte führte zuerst die Versuche der virtuellen Welt durch.



Abbildung 9: Ein Foto der Raumumgebung, die in unserem Folgeexperiment verwendet wurde.



Abbildung 10: Ein Screenshot der entsprechenden virtuellen Umgebung.

Im Gegensatz zu der in unserem ersten Experiment verwendeten Methodik waren die in der Folgestudie zurückgelegten Pfade nicht vordefiniert, sondern wurden zufällig sowohl in ihrer Startposition als auch in der Länge des angegebenen Entfernungsintervalls bestimmt, und jeder Pfad wurde definiert und unabhängig für jeden Versuch angezeigt. Auf diese Weise konnten wir sicherstellen, dass die Teilnehmer keine Informationen zwischen Versuchen oder zwischen Bedingungen übertragen konnten, da sie keine Möglichkeit hatten, die getesteten Entfernungen oder Pfade zu „lernen“.

In der virtuellen Umgebung wurde der Startpunkt für jedes Entfernungsintervall als der aktuelle Standort des Benutzers definiert, wie vom Tracker zum Zeitpunkt des Starts jedes Versuchs angegeben. Der Endpunkt jedes Entfernungsintervalls wurde durch einen automatischen Algorithmus definiert, bei dem die Blickrichtung des Teilnehmers verwendet wurde, um einen Vektor in der Bodenebene zu definieren, und ein texturabgebildeter Streifen aus virtuellem Band an einem Punkt platziert wurde, der zufällig definiert wurde, um dazwischen zu liegen 8–25 'entlang dieses Vektors vom aktuellen Standort des Teilnehmers. Der Experimentator hatte die Möglichkeit, eine Taste zu drücken, um eine neue zufällige Endbandposition anzufordern, wenn er der Ansicht war, dass der computerdefinierte Endpunkt des Entfernungsintervalls ungeeignet war (dh zu nahe an einem Hindernis oder einer Landmarke in der Umgebung). Diese manuelle Übersteuerungsoption wurde nur sparsam verwendet. Auf ein "Bereit"-Signal des Teilnehmers, Der Experimentator zeichnete den Startpunkt mit einem Tastendruck auf, wodurch auch der Bildschirm verdunkelt wurde. Am Ende jedes Versuchs wurden die virtuellen Marker gelöscht, als der Experimentator die Endposition des Teilnehmers aufzeichnete. Nach wie vor a

Ein separater Tastendruck wurde verwendet, um das Display wieder einzuschalten, wenn der Teilnehmer an einem geeigneten Startpunkt für den nächsten Versuch positioniert war.

In der realen Umgebung wurden die Start- und Endpunkte der Abstandsintervalle durch dünne Stoffstreifen angezeigt, die vom Experimentator auf Klettbänder genäht wurden, die interaktiv auf den Boden gelegt wurden, während dem Teilnehmer die Augen verbunden blieben. Ihr Standort wurde auf Ad-hoc-Basis bestimmt, um den in der virtuellen Umgebung verwendeten Definitionsprozess für zufällige Entfernungsintervalle nachzuahmen. Beide Marker wurden nach dem Ende jedes Versuchs heimlich aufgenommen, nachdem der Teilnehmer von seinem Endpunkt weggeführt worden war (immer noch mit verbundenen Augen).

3.2 Ergebnisse

Abbildung 11 fasst die Ergebnisse unseres Folgeexperiments in einem Balkendiagramm zusammen, das die durchschnittlichen relativen Fehler (walk_distance) zeigt - actual_distance) / actual_distance, berechnet über die 10 Versuche in der realen Welt und über die letzten 10 Versuche in der virtuellen Welt für alle Teilnehmer in jeder Bedingung. Wir haben eine gemischte Zwei-Wege-Analyse der Varianz der Fehler durchgeführt *Exposition* (reale Welt zuerst gegen virtuelle Welt zuerst) und *Umgebung* (Versuche in der realen Welt im Vergleich zu Versuchen in der virtuellen Welt) und ergaben keine signifikanten Haupteffekte der Umgebung ($F(1,196) = 0,06$, $p = 0,80$) oder der Exposition ($F(1,196) = 0,41$, $p = 0,52$).

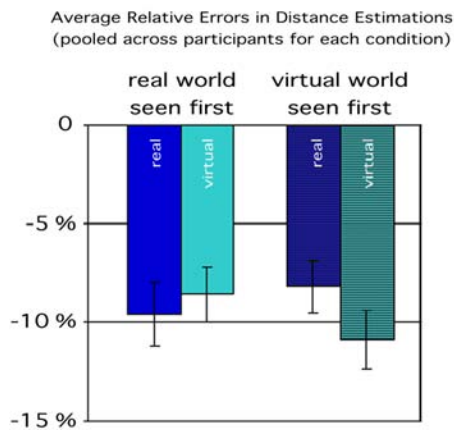


Abbildung 11. Ein Balkendiagramm mit den durchschnittlichen relativen Fehlern bei Entfernungsschätzungen, die von Teilnehmern unserer Folgestudie in der realen Welt (dunkelblau) und in der passenden virtuellen Welt (hellblau) vorgenommen wurden. Die Fehlerbalken repräsentieren ± 1 Standardfehler der Mittelwerte.

Abbildung 12 zeigt separate Streudiagramme aller einzelnen Entfernungsschätzungen, die von jedem unserer zehn Teilnehmer erhalten wurden. Datenpunkte in jedem Diagramm wurden nach Teilnehmernummer (Farbton) und Technologie (Helligkeit) farbcodiert und werden als Kreise dargestellt, als das Urteil in der virtuellen Welt gefällt wurde, und als Quadrate, als das Urteil in der realen Welt getroffen wurde. Trendlinien, die in dem einen Fall durchgehend und in dem anderen gepunktet sind, werden überlagert, um eine lineare Anpassung an die Daten zu veranschaulichen.

3.3 Diskussion

Das bemerkenswerte Ergebnis unseres Folgeexperiments ist, dass wir noch mehr als in unserem ursprünglichen Experiment keine Hinweise darauf fanden, dass die Teilnehmer im Vergleich zu einer immersiven virtuellen Umgebung eine signifikante Distanzkomprimierung erlebten

¹ Die Wahl, unter allen Bedingungen die gleiche Anzahl von Versuchen zu berücksichtigen wurde durchgeführt, um die statistische Analyse zu vereinfachen. Die Ergebnisse unter Verwendung der durchschnittlichen relativen Fehler, die über alle 20 VE-Versuche berechnet wurden, unterscheiden sich insgesamt nicht signifikant.

in der realen Welt. Wir haben festgestellt, dass unsere Teilnehmer im Durchschnitt sowohl im realen als auch im virtuellen Raum etwas „kurz“ gingen. Da dieses Phänomen jedoch beiden Umgebungen gemeinsam war, vermuten wir, dass es auf den relativen Mangel an guten linearen perspektivischen Hinweisen auf die Entfernung im neu konfigurierten Raum im Vergleich zum ursprünglichen Raum zurückzuführen ist, da der Raum eher gekrümmt als gerade ist.

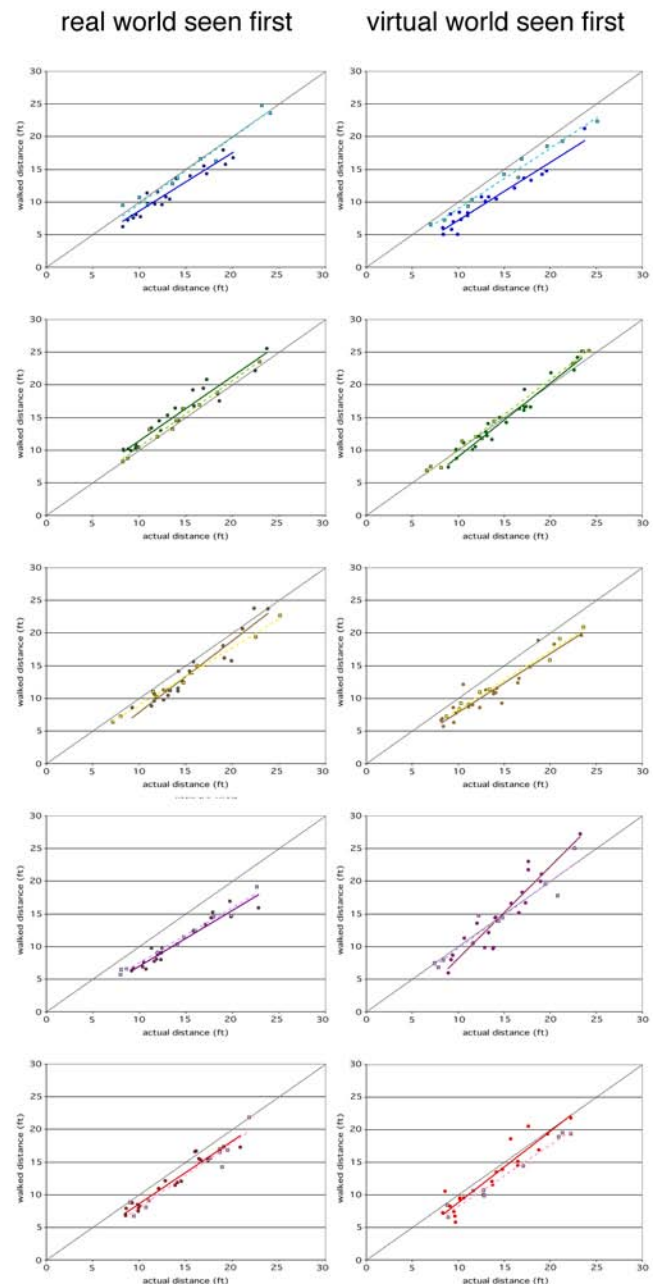


Abbildung 12. Einzelne Streudiagramme der zurückgelegten Entfernung gegenüber der Zielentfernung über alle Versuche für alle Teilnehmer.

4. G. ENERAL D. ISCUSSION

Obwohl wir nicht sicher sein können, dass die Ergebnisse unserer ersten Studie von potenziellen methodischen Bedenken nicht beeinflusst wurden, lässt uns die Tatsache, dass diese Ergebnisse in unserer zweiten Studie bestätigt wurden, die unter methodischen Bedingungen durchgeführt wurde, die nicht beanstandet werden können, davon ausgehen, dass dies insgesamt der Fall ist. Wir sind zu einer bedeutenden und interessanten neuen Entdeckung gekommen: nämlich der in a

In einer Situation, in der die Teilnehmer aufgrund der Beobachtung aus erster Hand sicher sein können, dass die immersive virtuelle Umgebung, die sie betrachten, dieselbe reale Umgebung darstellt, die sie physisch besetzen, scheinen sie nicht die gleichen starken Anzeichen aufzuweisen, die zuvor von beobachtet wurden andere, Entfernungen wahrzunehmen, die in der virtuellen Umgebung komprimiert werden sollen. Obwohl der gesamte Zweck der Verwendung der Technologie virtueller Umgebungen natürlich darin besteht, die Teilnehmer in eine einzutauchen *anders* Die Entdeckung, dass Hinweise auf Entfernungskomprimierung in immersiven virtuellen Umgebungen erheblich reduziert werden können, wenn bekannt ist, dass die Räume gleich sind, ist sehr ermutigend. Dies deutet darauf hin, dass das Problem der Entfernungskomprimierung in immersiven virtuellen Umgebungen möglicherweise nicht unbedingt der Technologie inhärent ist, sondern tatsächlich zu einem erheblichen Teil auf übergeordnete kognitive Probleme bei der Interpretation des präsentierten visuellen Stimulus zurückzuführen ist.

5. FUTURE WORK

Wir sind fasziniert von der Möglichkeit, dass die Fernwahrnehmung in einer virtuellen Umgebung durch das Ausmaß beeinflusst werden könnte, in dem eine in der VE anwesende Person bereit ist, diese VE als funktional äquivalent [6] zur realen Welt zu akzeptieren. Wenn sich herausstellt, dass die egozentrische Distanzkomprimierung, wie sie durch eine aktionsbasierte Metrik angezeigt wird, tatsächlich ein Symptom für die mangelnde Präsenz in einer immersiven virtuellen Umgebung ist, kann es in Zukunft möglich sein, eine solche Aktion zu verwenden. basierte Metriken, um quantitativ zu bewerten, inwieweit ein Teilnehmer in eine bestimmte virtuelle Umgebung eintaucht. In der zukünftigen Arbeit möchten wir diese Fragen vertiefen,

EINBESTÄTIGUNGEN

Diese Forschung wurde von der National Science Foundation durch die Zuschüsse IIS-0313226 und CNS-0323471, von der University of Minnesota über das Digital Technology Center sowie von den Stiftungs- und Laboreinrichtungsfonds des Digital Design Consortium von Linda und Ted Johnson unterstützt.

REFERENZEN

- [1] Lee Anderson, James Esser und Victoria Interrante, A Virtual Umgebung für Konzeption in der Architektur, In *Vorträge des 9. Eurographics-Workshops zu virtuellen Umgebungen / 7. Internationaler Workshop zu immersiver Projektionstechnologie*, 57–63, Mai 2003.
- [2] Niels H. Bakker, Peter J. Werkhoven und Peter O. Passenier. Kalibrieren Visuelle Pfadintegration in VEs, *Gegenwart*, **10**, 2, 216–224, 2001.
- [3] Sarah Creem-Regehr, Peter Willemsen, Amy A. Gooch und William B. Thompson. Der Einfluss eingeschränkter Betrachtungsbedingungen auf die egozentrische Distanzwahrnehmung: Implikationen für reale und virtuelle Umgebungen, *Wahrnehmung*, **34**, 2, 191–204, 2005.
- [4] Colin G. Ellard und Sarah C. Shaughnessy. Ein Vergleich von visuellen und Nicht visuelle sensorische Eingaben in die Gehstrecke bei einer blinden Gehaufgabe, *Wahrnehmung*, **32**, 567–578, 2003.
- [5] Digby Elliot. Der Einfluss von Gehgeschwindigkeit und vorherigem Üben auf Schätzung der Bewegungsentfernung, *Journal of Motor Behaviour*, **19** (4), 476–485, 1987.
- [6] James Ferwerda. Drei Arten von Realismus in der Computergrafik, *Menschliches Sehen und elektronische Bildgebung VIII*, SPIE **5007**, 290–297, 2003.
- [7] Sergio S. Fukushima, Jack M. Loomis und Jose A. Da Silva. Visuell Wahrnehmung der egozentrischen Distanz nach Triangulation. Im *Journal of Experimental Psychology: Menschliche Wahrnehmung und Leistung*, **23**, 1, 86–100, 1997.
- [8] Amy A. Gooch und Peter Willemsen. Bewertung der Raumwahrnehmung in NPR Immersive Umgebungen, In *Proceedings of NPAR 2002 (Symposium für nicht-fotorealistische Animation und Rendering)*, 105–110, 2002.

- [9] Benjamin Lok, Samir Naik, Mary Whitton und Frederick P. Brooks, Jr. Auswirkungen des Umgangs mit realen Objekten und der Wiedergabetreue von Selbst-Avataren auf die Leistung kognitiver Aufgaben und das Gefühl der Präsenz in virtuellen Umgebungen, *Gegenwart*, **12**, 6, 615–628, 2003.
- [10] Jack M. Loomis, Jose A. Da Silva und Naofumi Fujita. und Sergio S. Fukushima. Wahrnehmung des visuellen Raums und visuell gesteuerte Aktion, *Journal of Experimental Psychology: Menschliche Wahrnehmung und Leistung*, **18**, 4, 906–921, 1992.
- [11] Jack M. Loomis, Roberta L. Klatzky, Reginald G. Golledge und Joseph G. Cicinelli, James W. Pellegrino und Phyllis A. Fry. Nicht visuelle Navigation durch Blinde und Sehende: Bewertung der Fähigkeit zur Pfadintegration, *Journal of Experimental Psychology: Allgemeines*, **122**, 1, 73–91, 1993.
- [12] Jack M. Loomis und Joshua M. Knapp. Visuelle Wahrnehmung von egozentrisch Entfernung in realen und virtuellen Umgebungen. Im *Virtuelle und adaptive Umgebungen*, Lj Hettinger und MW Haas, Eds. Mahwah, NJ, 21–45, 2003.
- [13] Joshua M. Knapp und Jack M. Loomis. Eingeschränktes Sichtfeld des Kopfes Bereitgestellte Displays sind nicht die Ursache für die Unterschätzung der Entfernung in virtuellen Umgebungen. Im *Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen*, **13**, 5, 572–577, 2004.
- [14] Ross Messing und Frank H. Durgin. Distanzwahrnehmung und das Visuelle Horizont in kopfmontierten Displays, *ACM-Transaktionen zur angewandten Wahrnehmung*, **2**, 3, 234–250, 2005.
- [15] Christopher C. Pagano und Geoffrey P. Bingham. Vergleich von Maßnahmen von monokulare Distanzwahrnehmung: verbale und erreichende Fehler sind nicht korreliert, *Journal of Experimental Psychology: Menschliche Wahrnehmung und Leistung*, **24**, 4, 1037–1051, 1998.
- [16] Jodie M. Plumert, Joseph K. Kearney und James F. Cremer. Entfernung Wahrnehmung in realen und virtuellen Umgebungen. Im *Vorträge des ersten Symposiums zur angewandten Wahrnehmung in Grafik und Visualisierung*, 27. bis 34. August 2004.
- [17] John J. Rieser, Daniel H. Ashmead, Charles R. Taylor und Grant A. Youngquist. Visuelle Wahrnehmung und Führung der Fortbewegung ohne Vision zu zuvor gesehenen Zielen, *Wahrnehmung*, **19**, 675–689, 1990.
- [18] Cynthia S. Sahm, Sarah Creem-Regehr, William B. Thompson und Peter Willemsen. Werfen vs. Gehen als Indikatoren für die Fernwahrnehmung in realen und virtuellen Umgebungen, *ACM-Transaktionen zur angewandten Wahrnehmung*, **2**, 1, 35–45, 2005.
- [19] Michael J. Sinai, William K. Krebs, Rudy P. Darken, JH Rowland und JS McCarley. Egozentrische Distanzwahrnehmung in einer virtuellen Umgebung unter Verwendung einer Wahrnehmungsanpassungsaufgabe, *Gesellschaft für menschliche Faktoren und Ergonomie 43. Jährliches Treffen*, **43**, 1256–1260, 1999.
- [20] Runa E. Steenhuis und Melvyn A. Goodale. Die Auswirkungen von Zeit und Entfernung zur Genauigkeit der zielgerichteten Fortbewegung: Existiert ein genaues Kurzzeitgedächtnis für die räumliche Lokalisierung? *Journal of Motor Behaviour*, **20**, 4, 399–415, 1988.
- [21] William B. Thompson, Peter Willemsen, Amy A. Gooch, Sarah H. Creem-Regehr, Jack M. Loomis und Andrew C. Beall. Ist die Qualität der Computergrafik bei der Beurteilung von Entfernungen in visuell immersiven Umgebungen von Bedeutung? *Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen*, **13**, 5, 560–571, 2004.
- [22] James A. Thomson. Ist eine kontinuierliche visuelle Überwachung erforderlich? Visuell geführte Fortbewegung?, *Journal of Experimental Psychology: Menschliche Wahrnehmung und Leistung*, **9**, 427–443, 1983.
- [23] Benjamin A. Watson und Larry F. Hodges. Verwenden von Texturkarten zur Korrektur für optische Verzerrung in Head-Mounted-Displays. Im *Tagungsband des IEEE Virtual Reality Annual International Symposium*, 172–178, 1995 „.
- [24] Peter Willemsen und Amy A. Gooch. Wahrgenommene egozentrische Entfernungen in Reale, bildbasierte und traditionelle virtuelle Umgebungen *Verfahren der IEEE Virtual Reality 2002 (VR'02)*, 275–276.
- [25] Peter Willemsen, Mark B. Colton, Sarah Creem-Regehr und William B. Thompson. Die Auswirkungen der am Kopf montierten Anzeigemechanik auf Entfernungsbewertungen in virtuellen Umgebungen. Im *Vorträge des ersten ACM / SIGGRAPH-Symposiums zur angewandten Wahrnehmung in Grafik und Visualisierung*, 35–38, 2004.
- [26] Bob G. Witmer und Paul B. Kline. Wahrgenommen und durchquert urteilen Entfernung in virtuellen Umgebungen, *Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen*, **7**, 2, 144–167, 1998.
- [27] Bob G. Witmer und Wallace J. Sadowski. Nicht visuell geführte Fortbewegung zu einem zuvor angezeigten Ziel in realen und virtuellen Umgebungen, *Menschliche Faktoren*, **40**, i3, 478–484, 1998.

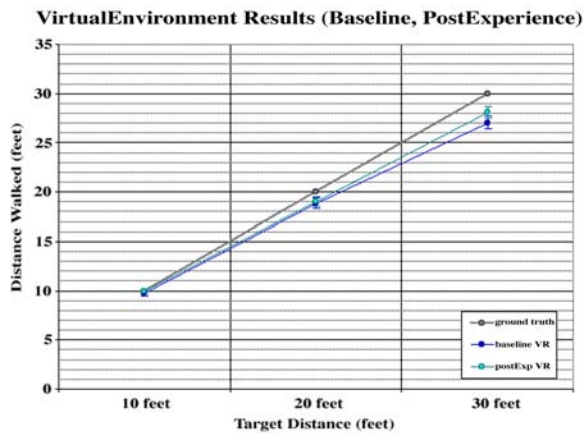


Abbildung 5: Gehbare Entfernung vs. Zielentfernung über die beiden VR-Bedingungen unter Verwendung gepoolter Ergebnisse aller Teilnehmer.

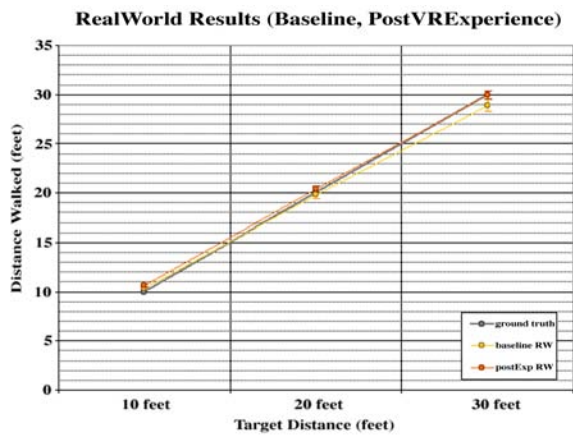


Abbildung 6: Gehbare Entfernung vs. Zielentfernung unter den beiden Bedingungen der realen Welt unter Verwendung gepoolter Ergebnisse aller Teilnehmer.

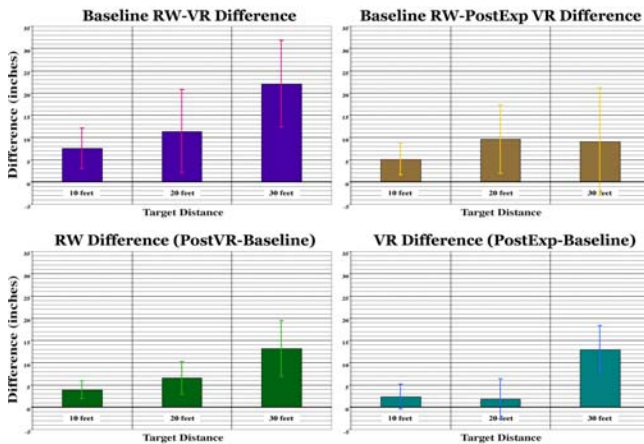


Abbildung 7: Leistungsunterschiede unter verschiedenen Bedingungen.

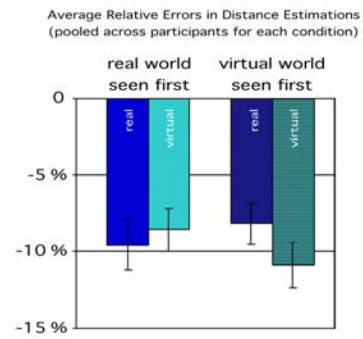


Abbildung 11. Die durchschnittlichen relativen Fehler bei Entfernungsschätzungen, die die Teilnehmer unserer zweiten Studie in der realen Welt (dunkelblau) und in der passenden virtuellen Welt (hellblau) vorgenommen haben.

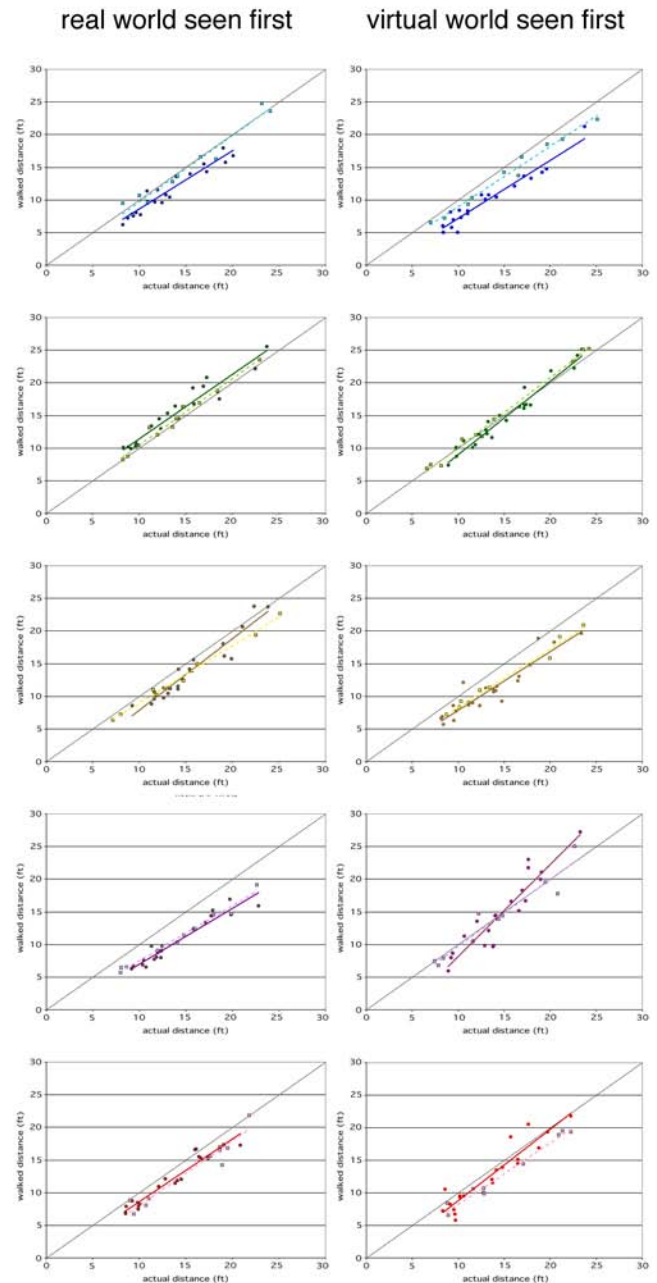


Abbildung 12. Einzelne Streudiagramme der zurückgelegten Entfernung gegenüber der Zielentfernung über alle Versuche in unserer zweiten Studie für alle Teilnehmer.