

Nutzung der Änderungsblindheit für die Umleitung in virtuellen Umgebungen

Evan A. Suma *

Seth Clark †

Samantha Finkelstein †

Zachary Wartell †

David Krum *

Mark Bolas * ‡

* USC Institut für kreative Technologien

† UNC Charlotte

‡ USC School of Cinematic Arts

EIN BSTRACT

Wir präsentieren die Umleitung der Änderungsblindheit, eine neuartige Technik, mit der der Benutzer durch eine immersive virtuelle Umgebung gehen kann, die erheblich größer ist als der verfügbare physische Arbeitsbereich. Im Gegensatz zu früheren Umleitungstechniken führt dieser Ansatz, der auf einem dynamischen Umgebungsmodell basiert, weder zu visuellen Konflikten bei der Manipulation der Zuordnung zwischen physischen und virtuellen Bewegungen, noch erfordert er eine Unterbrechung der Präsenz, um den Benutzer anzuhalten und explizit neu auszurichten. Wir haben zwei Benutzerstudien durchgeführt, um die Wirksamkeit der Illusion der Veränderungsblindheit bei der Erkundung einer virtuellen Umgebung zu bewerten, die um eine Größenordnung größer war als der physische Gehraum. Trotz der sich dynamisch ändernden Umgebung konnten die Teilnehmer kohärente Skizzen der Umgebungsstruktur zeichnen. Das Zeigen von Aufgabenergebnissen zeigte, dass sie in der Lage waren, ihre räumliche Ausrichtung innerhalb der virtuellen Welt beizubehalten. Nur einer von 77 Teilnehmern in beiden Studien bemerkte definitiv, dass ein Szenenwechsel stattgefunden hatte, was darauf hindeutet, dass die Umleitung der Änderungsblindheit eine bemerkenswert überzeugende Illusion darstellt. Sekundäre Ergebnisse zeigten, dass ein weites Sichtfeld die Zeigegenauigkeit erhöht und dass erfahrene Spieler ein größeres Gefühl der Präsenz zeigten als Spieler mit wenig oder keiner Erfahrung mit 3D-Videospielen.

Indexbegriffe: H.5.1 [Informationsschnittstellen und Präsentationen]; Multimedia-Informationssysteme - Künstliche, erweiterte und virtuelle Realität; I.3.6 [Computergrafik]: Methodik und Techniken - Interaktionstechniken; I.3.7 [Computergrafik]: Dreidimensionale Grafik und Realismus - Virtuelle Realität

Schlüsselwörter: Virtuelle Umgebungen, Umleitung, Blindheit ändern

1 I. EINLEITUNG

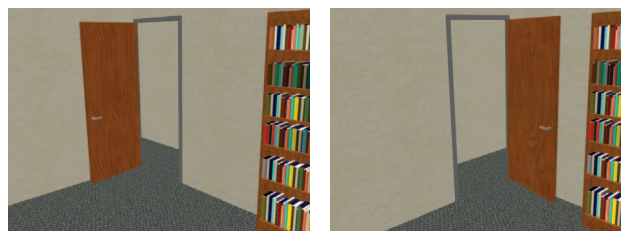
Es hat sich gezeigt, dass reales Gehen Vorteile gegenüber herkömmlichen alternativen Fortbewegungstechniken in immersiven virtuellen Umgebungen bietet, darunter ein besseres Präsenzgefühl [28], effizienteres Reisen [25], überlegene Leistung bei Suchaufgaben [20] und Vorteile für Gedächtnis und Kognition [24] [34]. Während Fortschritte in der Widearea-Tracking-Technologie es ermöglicht haben, die Bewegungen der Benutzer über raumgroße Bereiche genau zu erfassen, wird der begehbare Bereich in einer virtuellen Umgebung letztendlich durch die Größe des physischen Arbeitsbereichs eingeschränkt. Um diese Größenbeschränkung unter Beibehaltung einer natürlichen Gehoberfläche zu überwinden, gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten Umleitung. Es wurden Techniken vorgeschlagen, um die Standorte des Benutzers in der physischen und virtuellen Welt unmerklich zu entkoppeln.

In diesem Artikel stellen wir eine neuartige Umleitungstechnik vor, die ausgenutzt wird Blindheit ändern, Ein Wahrnehmungsphänomen, das auftritt, wenn eine Person eine visuelle Veränderung eines Objekts oder einer Szene nicht erkennt [14]. Durch Anwenden von Manipulationen auf das Modell der virtuellen Welt zeigen wir, dass ein Benutzer nahtlos durch eine virtuelle Umgebung gehen kann, die eine Größenordnung größer ist als die physische

E-Mail: {suma, krum, bolas}@ict.usc.edu

† E-Mail: {seclark1, s fi nkel1, wartell}@unc.edu

IEEE Virtual Reality 2011 19. -
23. März, Singapur
978-1-4577-0038-5 / 11 / \$ 26.00 © 2011 IEEE



(a) Vor dem Szenenwechsel

(b) Nach dem Szenenwechsel

Abbildung 1: Ein Beispiel für einen Szenenwechsel, bei dem eine Tür und der angrenzende Korridor sofort um 90 Grad gedreht werden, wenn die Benutzer wegsehen. Benutzer, die den Raum verlassen, gehen den Flur in eine andere Richtung als beim Betreten.

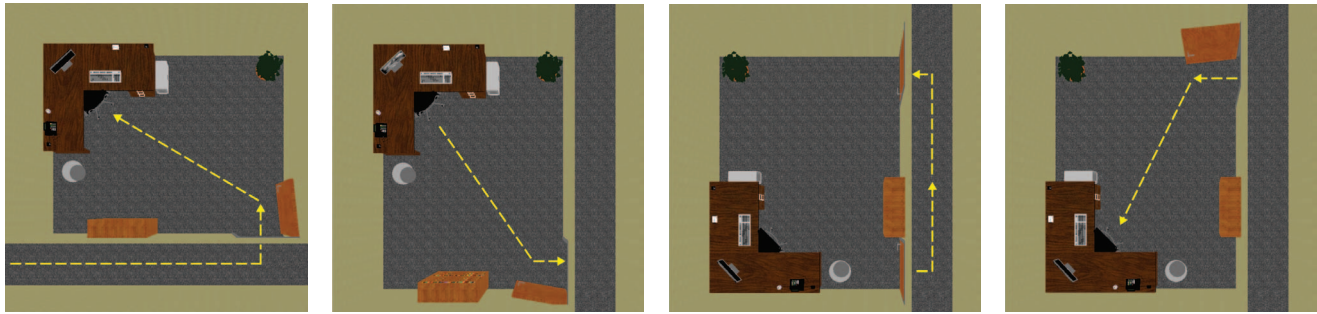
Arbeitsplatz. Im Gegensatz zu früheren Umleitungstechniken führt unser Ansatz, der auf einem dynamischen, adaptiven Umgebungsmodell basiert, weder zu visuell-vestibulären Konflikten bei der Manipulation der Zuordnung zwischen physischen und virtuellen Bewegungen, noch erfordert er eine Unterbrechung der Präsenz, um den Benutzer anzuhalten und explizit neu auszurichten. Es gibt jedoch andere Einschränkungen hinsichtlich der Umgebungsgeometrie und der Benutzerbewegung. Um diese Technik zu bewerten, haben wir eine virtuelle Proof-of-Concept-Umgebung entwickelt und zwei Benutzerstudien durchgeführt, um die Wirksamkeit der Illusion der Veränderungsblindheit zu messen.

2 P. REVIOUS W. ORK

In der Literatur wurden zwei allgemeine Umleitungsansätze vorgeschlagen: (1) Manipulieren der Zuordnung zwischen physischen und virtuellen Rotationen, um den Benutzer von den Grenzen des physischen Arbeitsbereichs weg zu orientieren, und (2) Skalieren physischer Bewegungen, um Reisen über größere Entfernungen in zu ermöglichen die virtuelle Welt. Beide Techniken führen zu einem visuell-vestibulären Konflikt. Untersuchungen in der Wahrnehmungspsychologie haben jedoch gezeigt, dass das Sehen im Allgemeinen dominiert, wenn diese Hinweise in Konflikt stehen [13] [15].

Das umgeleitete Gehen ist eine Technik, die einen Rotationsgewinn einführt, um den Benutzer unmerklich von den Grenzen des Verfolgersraums wegzudrehen [19]. Im Zusammenhang mit virtuellen Umgebungen wurden kürzlich mehrere psychophysische Studien durchgeführt, um die Schwellenwerte für die Erkennung von Rotationsmanipulationen unter verschiedenen Bedingungen zu untersuchen, z. B. während Kopfdrehungen [9], während Körperdrehungen [5] oder beim Gehen [7]. Ergebnisse einer Studie mit mehreren Techniken haben gezeigt, dass Benutzer physisch ungefähr 49% mehr oder 20% weniger als die wahrgenommene virtuelle Rotation gedreht werden können, ohne es zu bemerken, und entlang eines Kreisbogens mit einem Radius von mindestens 72 Fuß gehen können, während sie glauben, dass sie es sind in einer geraden Linie gehen [23].

Skalierte Translationsverstärkungstechniken manipulieren die Übersetzungen des Benutzers anstelle von Rotationen. Diese Technik kann am einfachsten implementiert werden, indem ein einheitlicher Skalierungsfaktor angewendet wird, sodass jede Bewegung in der realen Welt eine größere Entfernung in der virtuellen Umgebung zurücklegt [31]. Interrante et al. Stellten fest, dass ein einheitlicher Skalierungsfaktor die mit dem natürlichen Gehen verbundene Schwingung des Kopfes überträgt



(a) Der Benutzer betritt einen 14 'x 11' großen Raum. (b) Wenn sich der Benutzer dem Raum nähert. (c) Wenn der Benutzer die Halle betritt. Der Korridor und die Tür zum Weg, die zweite Tür wird hinzugefügt, der Benutzer betritt den zweiten Raum. Der Computermonitor.

Verlassen Sie den Raum sofort und der Inhalt des Raumes kann dann wiederholt werden. um 90 Grad gedreht.
mit dem nächsten Raum getauscht.

Abbildung 2: Eine schrittweise Erklärung unserer Proof-of-Concept-Implementierung der Umleitung von Änderungsblindheit. Dynamische Änderungen am Modell der virtuellen Umgebung verhindern, dass Benutzer beim Übergang zwischen zwei Räumen in der virtuellen Welt die Grenzen des 14 x 14 Zoll großen Arbeitsbereichs überschreiten. Dieser Vorgang kann unbegrenzt wiederholt werden, um eine große virtuelle Umgebung mit einer beliebigen Anzahl von Räumen zu durchlaufen.

al. verbesserte diesen Ansatz, indem die vom Benutzer beabsichtigte Fahrtrichtung geschätzt und nur die mit dieser Richtung ausgerichtete Bewegung skaliert wurde [8]. In einer psychophysischen Studie haben Steinicke et al. fanden heraus, dass Entfernungen um 14% verkleinert oder um 26% vergrößert werden konnten, ohne dass dies für den Benutzer erkennbar war [23]. Darüber hinaus können skalierte Translationsgewinne mit Rotationsgewinnen kombiniert werden, wie beispielsweise die von Bruder et al. Entwickelte Schnittstelle, die auch das Konzept virtueller Portale einführt, um umfangreiche immersive Architektur-Komplettlösungen zu ermöglichen [4].

Während Umleitungstechniken kontinuierlich angewendet werden können, während der Benutzer herumläuft, besteht ein anderer üblicher Ansatz darin, den Benutzer nur an der Grenze des Verfolgungsbereichs anzuhalten und neu auszurichten, eine Technik, die als Zurücksetzen bekannt ist [32]. Während eine Neuorientierung typischerweise durch Rotationsverstärkungen erreicht wird, hat eine kürzlich durchgeführte Studie gezeigt, dass dieser Ansatz auch mit skalierten Translationsverstärkungstechniken kombiniert werden kann [33]. Ein bemerkenswerter Nachteil des Zurücksetzens besteht jedoch darin, dass der Benutzer unterbrochen werden muss. Um diese potenziellen Brüche in Gegenwart zu mildern, haben Peck et al. schlugen vor, Distraktoren einzuführen, auf die sich der Benutzer während der Neuorientierung konzentrieren sollte, und zeigten, dass sie visuellen oder akustischen Anweisungen vorgezogen wurden [16]. Außerdem,

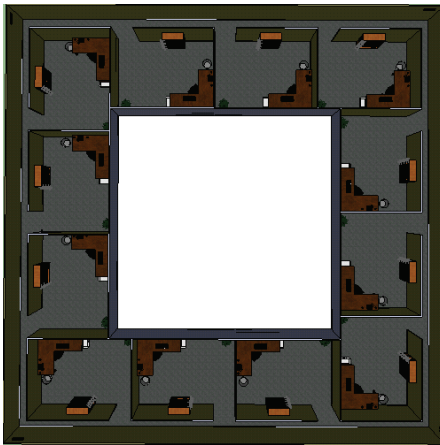
Im Gegensatz zu früheren Umleitungstechniken manipuliert unsere Methode die Zuordnung zwischen physischen und virtuellen Bewegungen nicht kontinuierlich, wodurch ein visuell-vestibulärer Konflikt vermieden wird. Darüber hinaus werden keine Anwesenheitspausen beim Zurücksetzen des Benutzers eingeführt. Stattdessen schlagen wir einen alternativen Ansatz vor - Anstatt die Bewegung des Benutzers zu manipulieren, um sie an die Umgebung anzupassen, manipulieren wir die Umgebung, um die Bewegungen zu generieren, die der Benutzer ausführen soll. Unsere Technik nutzt die natürliche Unempfindlichkeit des menschlichen visuellen Systems gegenüber Szenenänderungen, ein Wahrnehmungsphänomen, das zuvor auch genutzt wurde, um die grafischen Renderzeiten zu verkürzen, ohne die wahrgenommene visuelle Qualität zu beeinträchtigen [6]. Wallis et al. zeigten, dass Änderungsblindheit auch in dynamischen virtuellen Umgebungen auftritt und dass Beobachterbewegungen die Erkennung von Szenenänderungen reduzieren [30]. In einer aktuellen Studie haben Steinicke et al. zeigten, dass Phänomene der Veränderungsblindheit unter monoskopischen und stereoskopischen Betrachtungsbedingungen in gleichem Ausmaß auftreten, und untersuchten Filmmertechniken zur Einführung von Szenenänderungen in stereoskopischen Szenen [22]. Darüber hinaus wurde in einer Studie mit einem am Kopf montierten Display mit einem Eye-Tracker gezeigt, dass Szenenänderungen während einer Sakkade eingefügt werden können, was ihre Erkennung erschwert [27].

3 C. HANGE B. LINDNESS R. AUSGABE

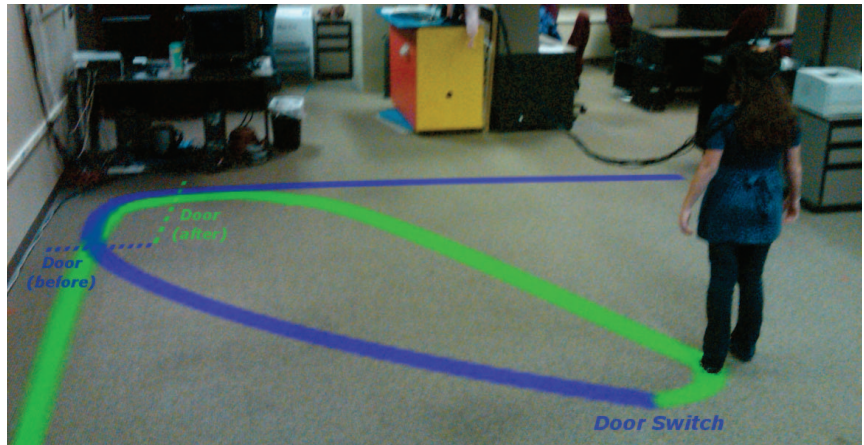
Zur Erklärung der Veränderungsblindheit wurden verschiedene Verarbeitungsstrategien für den Umgang mit widersprüchlichen visuellen Informationen vorgeschlagen, z. B.: (1) Menschen verlassen sich auf ihre ersten Eindrücke einer Umgebung, (2) ihre anfängliche mentale Repräsentation wird überschrieben und (3) widersprüchliche Merkmale werden kombiniert [21]. Unabhängig von der verwendeten Strategie haben viele Experimente gezeigt, dass es sehr schwierig ist zu bemerken, dass eine Änderung nach Wiederherstellung des Sehvermögens eingetreten ist, wenn das Gesichtsfeld einer Person während eines Szenenwechsels verdeckt wird [3]. Wahrnehmungsmäßig stützt sich das menschliche visuelle System stark auf vorübergehende optische Bewegungen, um die interne visuelle Darstellung einer Szene zu aktualisieren [18]. Wenn jedoch keine transienten optischen Bewegungsinformationen verfügbar sind, werden häufig Top-Down-Verarbeitungsstrategien verwendet, bei denen die Konzepte, Erwartungen, und Erinnerungen beeinflussen die Erkennung der Szene [14]. Im Kontext einer virtuellen Umgebung schlagen wir vor, dass diese Manipulationen aufgrund der Abhängigkeit von diesen Top-Down-Verarbeitungsstrategien schwer zu erkennen sind, solange Szenenmanipulationen außerhalb des Sichtfelds des Benutzers stattfinden. Um dieses Phänomen auszunutzen, haben wir eine Technik entwickelt, die als bekannt ist Blindheitsumleitung ändern. Dadurch wird der Gehweg des Benutzers durch subtile Manipulation auf die Geometrie des virtuellen Umgebungsmodells umgeleitet. Da sich die Gebäudearchitektur in der realen Welt nicht spontan ändert, gehen wir davon aus, dass Benutzer unbewusst davon ausgehen, dass das architektonische Layout der virtuellen Welt festgelegt ist.

Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für einen Szenenwechsel, mit dem der Gehweg des Benutzers in einer virtuellen Umgebung umgeleitet werden kann, basierend auf der Änderung der Ausrichtung der Türen hinter dem Rücken des Benutzers. Wenn eine Tür sofort gedreht wird, wird auch der angrenzende Korridor neu ausgerichtet, sodass Benutzer den virtuellen Flur in einer anderen Richtung als beim Betreten des Raums betreten. Diese „Türschalter“ können wiederholt betätigt werden, damit der Benutzer eine scheinbar große virtuelle Umgebung erkunden kann, während er auf einem relativ kleinen Quadrat im physischen Arbeitsbereich geht. Abbildung 2 zeigt die schrittweisen Manipulationen, die angewendet werden, wenn der Benutzer zwischen zwei Räumen wechselt.

Um die Wirksamkeit der Umleitungsmethode für Änderungsblindheit zu bewerten, haben wir unser Proof-of-Concept-Beispiel erweitert, um ein dynamisches virtuelles Bürogebäude mit 60 'langen Fluren und insgesamt 12 Räumen auf 2352 Quadratfuß begehbarer Fläche zu erstellen. Mit der vorgestellten Methode kann der Benutzer nahtlos durch die



(a) Virtuelle Welt - 60' x 60'



(b) Reale Welt - 14' x 14'

Abbildung 3: (a) Das virtuelle Bürogebäude umfasste 12 Räume mit einer virtuellen Fläche von 2352 Quadratfuß. (b) In der realen Welt ging der Benutzer innerhalb eines 14' x 14' Bereichs. Der Pfad des Benutzers, der vor dem Szenenwechsel den Flur entlang und einen Raum betritt, wird blau angezeigt. Der Weg, der den Raum nach dem Szenenwechsel verlässt und den Flur entlang führt, ist grün dargestellt. Jeder virtuelle Flur entspricht einer vollständigen Umdrehung um den Außenumfang des Verfolgungsraums.

Umgebung, während Sie sich physisch in einem 14' x 14' großen Verfolgungsbereich befinden (siehe Abbildung 3). Der Szenenwechsel wird ausgelöst, wenn sich ein Teilnehmer dem Schreibtisch in jedem Büro nähert. Um das gesamte Büro zu erkunden, muss der Szenenwechsel insgesamt 12 Mal einmal pro Raum angewendet werden. Um sicherzustellen, dass Benutzer beim Anwenden des Szenenwechsels von der Tür wegsehen, wird ein Computermonitor auf einem Schreibtisch basierend auf der Nähe des Benutzers aktiviert und zeigt dem Benutzer ein Bild an. Für die Zwecke unserer Studien dient das Einschalten der Computerbildschirme auch als experimentelle Aufgabe, die die Teilnehmer ausführen sollten. Diese virtuelle Umgebung wurde verwendet, um alle in diesem Dokument beschriebenen Experimente durchzuführen.

Die Umgebung ist so gestaltet, dass Sie sie erkunden können, indem Sie jeden Raum der Reihe nach besuchen. Es ist zu beachten, dass unsere Implementierung der Umleitungstechnik fehlschlägt, wenn der Benutzer den Besuch eines Raums überspringt und den gesamten Flur entlang läuft. Während diese Einschränkung die Erkundung des Benutzers einschränkt, ermöglicht sie mehr lokale Bewegungsfreiheit auf engstem Raum als umgeleitetes Gehen, was auch davon ausgeht, dass der Benutzer einem bestimmten Pfad folgt [19]. Zusätzlich passt unsere Implementierung die Raumabmessungen während des Szenenwechsels an, um Platz für die Verschiebungsposition des Flurs (14' x 11' bis 11' x 14') zu schaffen. Wir haben dies getan, um den Platz zum Gehen innerhalb unseres begrenzten Verfolgungsbereichs zu maximieren. Diese Anpassung des Seitenverhältnisses ist jedoch keine Anforderung der Technik.

4 E. XPERIMENT 1: Ich NITIAL S. TUDY

Unser erstes Experiment wurde entwickelt, um die Umleitungsmethode für Änderungsblindheit zu bewerten, um zu bestimmen, (1) wie gut Benutzer die Szenenänderungen wahrnehmen können und (2) ob sie in der Lage sind, eine kohärente mentale Karte der dynamischen virtuellen Umgebung zu erstellen. Wir haben auch untersucht, ob es notwendig ist, Benutzer abzulenken, um sie weniger empfindlich für Szenenänderungen zu machen. Um dieses Problem zu untersuchen, haben wir die Aufnahme einer Arbeitsspeicheraufgabe als unabhängige Variable variiert.

4.1 Teilnehmer

Insgesamt 37 Personen nahmen an der Studie teil (22 Männer, 15 Frauen) und waren in Bezug auf das Geschlecht gleichmäßig auf unsere Versuchsbedingungen verteilt. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer betrug 20,84 (SD = 4.15). 22 Teilnehmer hatten wenig oder keine Erfahrung mit 3D-Videospielen, und 15 gaben an, dies auch zu tun

erfahren oder sehr erfahren. Sie wurden aus einem allgemeinen Psychologiekurs für Studenten rekrutiert und erhielten einen Forschungskredit für die Teilnahme. Die Teilnehmer mussten zwischen 18 und 65 Jahre alt sein, ein normales oder normales Sehvermögen haben und in der Lage sein, sich bequem in gesprochenem und geschriebenem Englisch zu verständigen.

4.2 Studiendesign

Jeder Teilnehmer wurde gebeten, die in Abschnitt 3 beschriebene virtuelle Umgebung zu erkunden. Er wurde angewiesen, die Büros in der virtuellen Umgebung zu besuchen und den Computerbildschirm in jedem Raum einzuschalten. Die Teilnehmer wurden zufällig einer der folgenden Bedingungen zwischen den Probanden zugeordnet:

- Ablenkung: Jeder Monitor zeigte ein Bild eines eindeutigen Objekts in zufälliger Reihenfolge an. Die Teilnehmer wurden angewiesen, sich an die Bilder zu erinnern, und es wurde ihnen gesagt, dass sie anschließend getestet werden würden.
- Erkundung: Jeder Monitor zeigte denselben allgemeinen Anmeldebildschirm an. Sie wurden nur angewiesen, die Monitore einzuschalten, und erhielten keinen Gedächtnistest.

Wir stellten die Hypothese auf, dass die durch die Arbeitsgedächtnisaufgabe verursachte kognitive Belastung die Teilnehmer ablenken würde, was dazu führen würde, dass die Szenenänderungen im Ablenkungszustand weniger wahrnehmbar sind als im Erkundungszustand. Da die Vertrautheit der Teilnehmer mit 3D-Videospielen auch die Effektivität der Umleitungstechnik beeinflussen kann, haben wir auch die Erfahrung mit 3D-Videospielen als Variable zwischen Subjekten untersucht.

4.3 Ausrüstung

Die Teilnehmer erkundeten die virtuelle Umgebung mithilfe eines am Kopf montierten Virtual Research VR1280-Displays. Dieses Display bietet eine stereoskopische Ansicht mit einer Auflösung von 1280 x 1024 pro Auge, einer Bildwiederholfrequenz von 60 Hz und einem diagonalen Sichtfeld von 60 Grad. Das Display enthält auch eine Barriere, um reale Bilder von der peripheren Sicht der Teilnehmer abzuhalten. Für den Pupillenabstand haben wir den Bevölkerungsdurchschnitt von 2,56 Zoll verwendet. Die Kopfverfolgung mit sechs Freiheitsgraden wurde mit dem Weitwinkelverfolgungssystem 3rdTech Hiball 3100 durchgeführt, das eine optische Verfolgung von innen nach außen über einen Bereich von 14' x 16' ermöglichte. Der Tracker wurde am Band oben am Kopf montiert und der Versatz zwischen dem Tracker

und die Anzeigeoptik wurde in der Software korrigiert. Obwohl die virtuelle Umgebung kein Audio enthielt, trugen die Teilnehmer die angeschlossenen Kopfhörer des Displays, um Umgebungsgeräusche passiv zu übertönen. Um ein Stolpern zu vermeiden, während die Teilnehmer den Verfolgungsbereich umkreisten, stiegen alle Kabel von einem Montagerahmen an der Decke in der Mitte des Arbeitsbereichs ab, und ein Experimentator folgte jedem Teilnehmer und hielt die Kabel fest, um ein Ziehen zu verhindern. Die virtuelle Umgebung wurde mit dem OpenSceneGraph-Renderer und VRPN zur Verfolgung der Systemintegration implementiert [26]. Das Experiment wurde auf einem Dell Pentium 4 3,4-GHz-PC unter Windows XP mit 2 GB RAM und einer NVIDIA Quadro FX 4500-Grafikkarte ausgeführt. Beide Augen wurden mit 60 Bildern pro Sekunde gerendert.

4.4 Methoden

Die Studie dauerte ungefähr 45 Minuten. Die Teilnehmer lesen zunächst ein Informationsblatt, in dem die Studie ausführlich beschrieben wird. Nachdem ihnen Gelegenheit gegeben wurde, Fragen zu stellen, lasen sie das Einverständnisformular und unterzeichneten es. Nachdem die Zustimmung eingeholt worden war, füllten die Teilnehmer eine demografische Umfrage aus. Im Rahmen dieses Fragebogens wurden sie gebeten, ihre Vertrautheit mit Videospielen anzugeben, die in einer 3D-Umgebung stattfanden. Wir haben dies verwendet, um die Teilnehmer in zwei Gruppen einzuteilen: unerfahrene (diejenigen, die wenig oder keine Erfahrung mit 3D-Videospielen berichteten) und erfahrene (diejenigen, die angaben, entweder erfahren oder sehr erfahren zu sein). Anschließend füllten die Teilnehmer den Kennedy-Lane Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) aus [10].

Nach dem Ausfüllen der Vorfragebögen wurde den Teilnehmern die Versuchsaufgabe erklärt und sie wurden mit dem Headmounted-Display ausgestattet. Es ist wichtig zu beachten, dass wir den Teilnehmern beim Betreten des Experimentierbereichs keine Augen verbunden haben. Daher konnten sie die Größe des physischen Raums beobachten, bevor sie das am Kopf montierte Display anbrachten. Die Teilnehmer erhielten eine kurze Schulung, in der sie etwa zwei Minuten lang übten, in einer virtuellen Beispielumgebung herumzulaufen. Als die Teilnehmer bereit waren, fortzufahren, wurden ihnen die Versuchsaufgaben erklärt und ihnen wurde Gelegenheit gegeben, Fragen zu stellen. Dann wurde die virtuelle Büroumgebung geladen und sie erkundeten die Umgebung, indem sie jedes der 12 Büros besuchten. Es dauerte ungefähr fünf Minuten, um die Umgebung vollständig zu erkunden.

Unmittelbar nach der experimentellen Sitzung beendeten die Teilnehmer den SSQ-Post-Test, damit wir die Änderung der gemeldeten Symptome von vor bis nach der experimentellen Sitzung vergleichen konnten. Die Teilnehmer an der Ablenkungsbedingung wurden dann gebeten, einen Erinnerungsrückruftest durchzuführen, bei dem sie alle Bilder auflisten mussten, an die sie sich aus der Umgebung erinnern konnten. Dieser Rückruftest wurde durchgeführt, damit die Teilnehmer bei den letztgenannten Fragebögen keine Täuschung vermuten, wurde jedoch nicht als eine unserer Ergebnismaße aufgenommen.

Als nächstes wurden die Teilnehmer gebeten, eine grobe Karte der Umgebung auf einem Blatt Papier zu skizzieren. Dies wurde durchgeführt, um zu beurteilen, ob sie in der Lage waren, die widersprüchlichen räumlichen Layoutinformationen in eine zusammenhängende mentale Karte aufzulösen. Da wir uns mit ihrem Verständnis der Umgebungsstruktur befassen, haben wir sie angewiesen, die Wände, Räume und Türen zu zeichnen, jedoch keine Gegenstände oder Möbel einzuschließen. Diese Karten wurden unabhängig voneinander von drei Graden bewertet, die für den Zustand der Teilnehmer blind waren, und zwar in einem modifizierten Ansatz ähnlich dem von Billinghurst et al. [2]. Die Grader erhielten das Bild des virtuellen Bürolayouts (siehe Abbildung 3.a) und mussten subjektiv bewerten, wie gut die Skizze dieselbe Umgebung wie das Bild auf einer Skala von 1 = „überhaupt nicht“ bis 5 = „sehr genau“ darstellt“. Die Bewerter wurden angewiesen, die Zeichenfähigkeit des Teilnehmers zu ignorieren und die Karten anhand der strukturellen Ähnlichkeit und nicht anhand der visuellen Qualität zu beurteilen. Nach dem Ausfüllen der Skizzenkarte wurden die Teilnehmer gebeten, den SUS-Präsenzfragebogen auszufüllen [29]. Der Präsident

Die Bewertungen für die sechs Fragen wurden zusammen gemittelt, um eine einzelne SUS-Präsenzbewertung im Bereich von 1 bis 7 zu erhalten, wobei höhere Bewertungen einem höheren Präsenzgefühl entsprechen.

Schließlich füllten die Teilnehmer einen Fragebogen über ihre Erfahrungen in der virtuellen Umgebung aus. Die Wirksamkeit der Umleitungsmethode für Änderungsblindheit wurde hauptsächlich anhand mehrerer realer Fragen bewertet, die in eine Liste von Täuschungsphänomenen eingebettet sind, ähnlich dem Ansatz von Peck et al. [16]. Die Teilnehmer wurden gefragt: „Haben Sie etwas Unnatürliches oder Merkwürdiges an Ihrer virtuellen Erfahrung bemerkt? Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen. Bitte beachten Sie, dass diese Phänomene möglicherweise aufgetreten sind oder nicht.“ Sie wurden dann gebeten, jede der folgenden Aussagen auf einer Skala von 0 = „nicht bemerkt oder nicht geschehen“ mit 6 = „sehr offensichtlich“ zu bewerten (die primären Ergebnismessungen sind kursiv gedruckt):

- Ich habe gesehen, wie die virtuelle Welt kleiner oder größer wurde.
- Ich hatte das Gefühl, mich im Kreis zu drehen.
- Ich sah die virtuelle Welt flackern.
- Ich sah, wie die virtuelle Welt heller oder dunkler wurde.
- Ich sah, dass sich etwas in der virtuellen Welt bewegt hatte.
- Ich sah die virtuelle Welt rotieren.
- Ich hatte das Gefühl, größer oder kleiner zu werden.
- Ich hatte das Gefühl, bewegt zu werden.
- Ich sah, dass sich etwas in der virtuellen Welt geändert hatte.

Am Ende des Fragebogens zur virtuellen Erfahrung haben wir auch kostenlose Antwortfragen aufgenommen, um qualitatives Feedback zu erhalten. Insbesondere haben wir die folgende Frage aufgenommen, um herauszufinden, ob die Teilnehmer den Szenenwechsel spezifisch identifizieren konnten: „In jedem Raum der virtuellen Umgebung haben bestimmte Objekte ihren Standort geändert. Wenn Sie können, geben Sie bitte an, welche Objekte sich geändert haben und wie sie sich geändert haben.“ Um zu beurteilen, ob sich die Umleitungstechnik negativ auf ihre Erfahrungen auswirkt, haben wir die Teilnehmer gebeten, alle Aspekte zu identifizieren, die ihre Erfahrungen in der virtuellen Welt beeinträchtigen. Am Ende des Experiments wurden die Teilnehmer einer Nachbesprechung unterzogen und erhielten schließlich die Gelegenheit, Fragen zu stellen oder Kommentare abzugeben.

4.5 Ergebnisse

Sofern nicht anders angegeben, verwenden alle in diesem Dokument angegebenen statistischen Ergebnisse einen signifikanten Wert von $\alpha = .05$. Bei allen Varianzanalysen (ANOVA) wurde die Quadratsumme vom Typ III verwendet, um den ungleichmäßigen Anteil der 3D-Videospielerfahrung zwischen Gruppen zu korrigieren.

4.5.1 Eingebettete Fragen

Abbildung 4 zeigt die Durchschnittsbewertungen für jede der eingebetteten Fragen. Die Bewertungen für die Täuschungsfragen lagen zwischen 0,70 und 2,30, was darauf hinweist, dass einige Vermutungen aufgetreten sind. Die Ergebnisfrage „Ich habe gesehen, dass sich etwas in der virtuellen Welt bewegt hat“ war bemerkenswert niedrig ($M = 1,00$, $SD = 1,87$) und gut im gleichen Bereich wie die Täuschungsfragen, was darauf hinweist, dass die Szenenänderungen von den meisten Teilnehmern möglicherweise unentdeckt geblieben sind. Die andere Ergebnisfrage „Ich hatte das Gefühl, mich im Kreis zu drehen“ war ein auffälliger Ausreißer ($M = 4,00$,

$SD = 1,68$). Dies deutet darauf hin, dass die Teilnehmer die Szenenänderungen zwar nicht bemerkt haben, aber dennoch das allgemeine Gefühl hatten, auf engstem Raum in einer Schleife zu laufen.

Die Bewertungen für die beiden eingebetteten Ergebnisfragen wurden jeweils mit einer univariaten 2x2-ANOVA behandelt, in der die Auswirkungen der Erfahrung mit 3D-Videospielen und der experimentellen Aufgabe (Ablenkung oder Erkundung) getestet wurden. Für „Ich habe gesehen, dass sich etwas in der virtuellen Welt bewegt hat“ waren die Bewertungen für erfahrene Spieler höher ($M = 1,73$, $SD = 2,28$) als diejenigen, die mit 3D-Videospielen unerfahren sind ($M = 0,50$, $SD = 1,41$),

$F(1,33) = 4,44$, $p = .04$, $\eta^2_p = .12$. Der Effekt für experimentelle Aufgabe war nicht von Bedeutung, $p = .20$, noch war der Interaktionseffekt, $p = .10$. Für „Ich hatte das Gefühl, mich im Kreis zu drehen“ ergab die Analyse nicht signifikante Effekte für das 3D-Videospiel-Ergebnis, $p = .65$, experimentelle Aufgabe, $p = .69$ und die Interaktion, $p = .07$.

Eingebundene Fragen

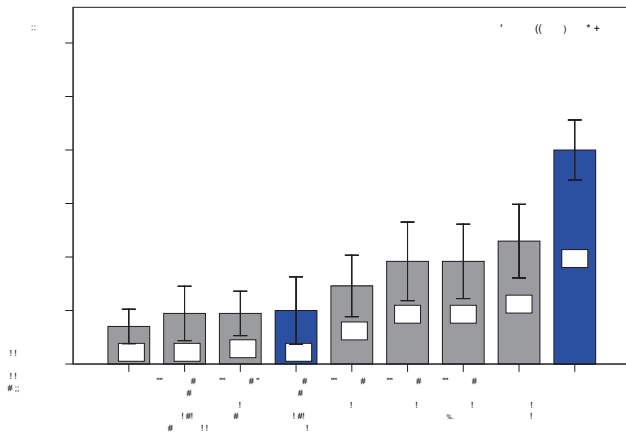


Abbildung 4: Ergebnisse der mittleren Ergebnisbewertungen (blau dargestellt), eingebettet in eine Liste von Täuschungsfragen. Die Bewertung, die dem Erkennen von Szenenänderungen entspricht, war bemerkenswert niedrig. Während dies darauf hinweist, dass Szenenänderungen weitgehend unbemerkt blieben, bewerteten die Teilnehmer das Gefühl, sich im Kreis zu drehen, viel höher als alle anderen Maßnahmen.

4.5.2 Skizzenkarten

Insgesamt waren die Noten der Sketch Map recht hoch ($M = 4,22$, $SD = 0,79$). Auf einer Bewertungsskala von 1 bis 5 zeichneten nur drei von 37 Teilnehmern Karten, die eine durchschnittliche Bewertung unter drei erhielten. Abbildung 5 zeigt repräsentative Beispiele für die von den Teilnehmern in jeder Bedingung gezeichneten Skizzenkarten. Diese Ergebnisse zeigen, dass sich die mentalen Karten der Teilnehmer strukturell dem statischen Layout ähnelten, das sie wahrnehmen sollten, obwohl sich das Layout der virtuellen Umgebung dynamisch änderte. Um die Auswirkungen der Erfahrung mit 3D-Videospielen und der experimentellen Aufgabe (Ablenkung oder Erkundung) zu testen, wurden die Sketch-Map-Bewertungen mit einer univariaten 2x2-ANOVA behandelt. Die Analyse ergab nicht signifikante Effekte für das 3D-Videospiel-Ergebnis. $p = .70$, experimentelle Aufgabe $p = .53$ und die Interaktion, $p = .30$.

4.5.3 Sonstige Maßnahmen

Die Durchschnittswerte für die SUS-Präsenz wurden mit einer 2×2 -univariaten ANOVA behandelt, in der die Auswirkungen der Erfahrung mit 3D-Videospielen und der experimentellen Aufgabe (Ablenkung oder Erkundung) getestet wurden. Teilnehmer, die Erfahrung mit 3D-Spielen hatten, berichteten von signifikant höheren Präsenzwerten ($M = 5,16$, $SD = 0,93$) als unerfahrene Teilnehmer ($M = 4,18$, $SD = 1,10$), $F(1,35) = 7,50$, $p = .01$, $\eta^2 = .19$. Die Haupteffekt für experimentelle Aufgabe war nicht signifikant, $p = .66$, noch war der Interaktionseffekt, $p = .81$.

Die Krankheitswerte des Simulators wurden mit einer gemischten 2×2 -ANOVA behandelt, wobei der Faktor der experimentellen Aufgabe zwischen den Probanden (Ablenkung oder Erkundung) und der Zeitfaktor innerhalb der Probanden (vor oder nach der VR-Sitzung) getestet wurden. Der Haupteffekt für die Zeit war das Signal

nicht signifikant, $F(1,35) = 6,83$, $p = .01$, $\eta^2 = .16$, Teilnehmer anzeigend berichteten über eine höhere Simulatorkrankheit vor ($M = 11,73$, $SD = 12,35$) bis nach der VR-Sitzung ($M = 21,33$, $SD = 21,88$). Der Haupteffekt für die experimentelle Aufgabe war nicht signifikant, $p = .32$, noch war der Interaktionseffekt, $p = .75$.

4.6 Diskussion

Die Ergebnisse dieser ersten Anwenderstudie waren sehr vielversprechend. Bewertungen der eingebetteten Fragen zeigten, dass die Illusion der Veränderungsblindheit in virtuellen Umgebungen sehr effektiv ist. Tatsächlich bemerkte nur ein Teilnehmer von 37 (ein erfahrener 3D-Spieler) den Türschalter, als er gefragt wurde, was sich auf dem qualitativen Fragebogen geändert hat, und sagte: „Als ich den Raum verließ, hatte ich die Tür bemerkt

Beispielskizzen

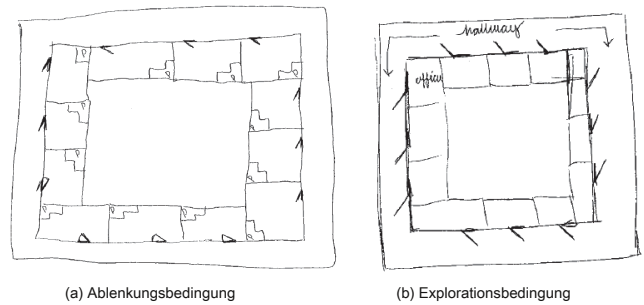


Abbildung 5: Zwei repräsentative Beispiele für die groben Skizzenkarten, die die Teilnehmer nach Erkundung der Umgebung gezeichnet haben. Die von drei unabhängigen Gradern bewerteten Skizzenkarten waren dem statischen Umgebungsmodell in beiden experimentellen Aufgabenbedingungen strukturell ähnlich.

war auf der gegenüberliegenden Seite, als hätte sich die Tür oder der Raum komplett verändert.“ Alle anderen Teilnehmer gaben entweder an, keine Änderungen bemerkt zu haben oder Objekte zu erraten, die sich nie bewegten, wie z. B. den Computer, Objekte auf dem Schreibtisch, den Mülleimer und die Topfpflanze (in ähnlicher Weise deuteten auch die Antworten auf die Fragen zu eingebetteten Ködern auf Vermutungen hin). Darüber hinaus waren die Ähnlichkeitsbewertungen zwischen den Skizzenkarten und dem statischen Modell, das die Teilnehmer wahrnehmen sollten, hoch, was darauf hinweist, dass sich die Teilnehmer zwar dynamisch änderten, die Teilnehmer jedoch weiterhin in der Lage waren, eine zusammenhängende mentale Karte zu erstellen. Während die Teilnehmer bewerteten, dass sie bis zu einem gewissen Grad das Gefühl hatten, sich im Kreis zu drehen, erwähnte keiner von ihnen dies auf dem qualitativen Fragebogen, als er gefragt wurde, ob etwas von ihrer virtuellen Erfahrung abhängt. Wir haben es jedoch getan eine Reihe positiver Kommentare erhalten, die die Wirksamkeit der Umleitungstechnik bestätigten; Ein Teilnehmer bemerkte zum Beispiel: „Ich hatte wirklich das Gefühl, durch Flure zu gehen, anstatt den Raum zu umkreisen.“

Während unsere Stellgröße - das Hinzufügen einer Arbeitsgedächtnisaufgabe zur Ablenkung - für keine unserer Maßnahmen ein statistisch signifikanter Faktor war, sehen wir dies als positives Ergebnis an, da sich die Umleitungstechnik als erstaunlich effektiv erwies. Die Ergebnisse der Explorationsbedingung zeigen, dass die Illusion der Veränderungsblindheit so überzeugend ist, dass keine zusätzlichen Ablenkungen erforderlich sind. Eine sekundäre Erkenntnis für diese Studie ist, dass Teilnehmer mit Erfahrung im Spielen von 3D-Videospielen ein höheres Gefühl der Präsenz berichteten. Wir spekulieren, dass eine Vertrautheit mit 3D-Spielumgebungen es den Teilnehmern ermöglicht, den Unglauben leichter auszusetzen, wenn sie in die virtuelle Realität eintauchen, obwohl die Gründe für diesen Unterschied unklar bleiben. Obwohl die gemeldete Simulatorkrankheit zunahm, war dies möglicherweise eine Folge unseres VR-Setups.

5 E. XPERIMENT 2: F. OLLOW-UP S. TUDY

Angesichts der vielversprechenden Ergebnisse aus Experiment 1 schien die Umleitung der Änderungsblindheit unglaublich effektiv zu sein. Daher haben wir in Experiment 2 versucht, eine Bewertung durchzuführen, bei der die Technik mit größerer Wahrscheinlichkeit „gebrochen“ wird. Zunächst untersuchten wir den Effekt der Vergrößerung des Head-Mounted-Display-Sichtfelds (FOV). Kürzlich entwickelte Displays wie das Fakespace Wide5 und das NVIS nVisor SX111 haben es ermöglicht, ein viel breiteres Panorama als herkömmliche FOV-Displays mit einer Diagonale von 60 Grad zu erleben. Da mehrere frühere Studien zur virtuellen Umgebung ergeben haben, dass ein breites Sichtfeld zu einer genaueren Entfernungswahrnehmung [11] und einer überlegenen Leistung bei Geh- und Suchaufgaben [1] [12] führt als ein begrenztes Sichtfeld, kann ein breites Sichtfeld es den Teilnehmern ermöglichen, mehr Raum zu sammeln Informationen über die virtuelle Umgebung,

durch unsere Technik. Zweitens haben wir vor und nach Szenenwechseln eine Zeigeaufgabe eingefügt, um festzustellen, ob die Umleitungstechnik die räumliche Ausrichtung der Teilnehmer in Bezug auf die virtuelle Welt beeinträchtigt. Schließlich haben wir unseren qualitativen Fragebogen um absichtlich führende Fragen erweitert, um festzustellen, ob wir die Teilnehmer dazu bringen können, die Umleitungstechnik zu identifizieren.

5.1 Teilnehmer

Insgesamt nahmen 40 Personen an der Studie teil (20 Männer, 20 Frauen) und waren in Bezug auf das Geschlecht gleichmäßig auf unsere Versuchsbedingungen verteilt. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer betrug 35,38 (SD = 12,57). Als die Teilnehmer gebeten wurden, ihre Erfahrungen mit 3D-Videospielen zu ermitteln, hatten 32 wenig oder keine Erfahrung, und 8 gaben an, dass sie erfahren oder sehr erfahren waren. Sie wurden hauptsächlich über Craigslist-Online-Klassifizierungen rekrutiert und erhielten eine Geschenkkarte im Wert von 20 USD für die Teilnahme. Die Teilnehmer mussten über 18 Jahre alt sein, ohne Hilfe gehen können, ein normales oder normales Sehvermögen haben und bequem in gesprochenem und geschriebenem Englisch kommunizieren können. Wir haben Teilnehmer ausgeschlossen, die schwanger waren, Epilepsie oder Krampfanfälle in der Vorgeschichte hatten oder eine Krankheit hatten, die durch Kontakt übertragen werden konnte.

5.2 Studiendesign

Die Teilnehmer erkundeten die in Abschnitt 4 beschriebene virtuelle Umgebung 3 und erhielten die gleiche Erkundungsaufgabe wie Experiment 1. Bilder wurden angezeigt, wenn sich die Teilnehmer den virtuellen Computermonitoren näherten; Sie wurden jedoch nur angewiesen, die Bildschirme einzuschalten, und wurden nicht aufgefordert, sich an die Bilder zu erinnern. Die Teilnehmer wurden zufällig einer der folgenden Bedingungen zwischen den Probanden zugeordnet:

- Breites Sichtfeld: Die Welt wurde mit einem horizontalen Sichtfeld von 150 Grad und einem vertikalen Sichtfeld von 88 Grad dargestellt.
- Enges Sichtfeld: Die Anzeige wurde durch Verdunkeln der peripheren Pixel in der Software auf ein horizontales 48-Grad-Sichtfeld und ein vertikales 36-Grad-Sichtfeld beschränkt, wodurch die Einschränkungen allgemein verfügbarer Head-Mounted-Displays simuliert wurden, die ein 60-Grad-Diagonal-Sichtfeld verwenden.

Wir stellten die Hypothese auf, dass die Szenenänderungen für Teilnehmer im weiten Sichtfeld offensichtlicher wären. Angesichts der äußerst positiven Ergebnisse aus Experiment 1 hofften wir jedoch, dass sich die Technik der Umleitungsblindheitsumleitung unabhängig vom Sichtfeld als wirksam erweisen würde.

5.3 Ausrüstung

Wir haben dieselbe Software wie in Experiment 1 verwendet, jedoch ein anderes Hardware-Setup. Die Teilnehmer erkundeten die virtuelle Umgebung mithilfe eines am Kopf montierten Fakespace Wide5-Displays, das ein breiteres Sichtfeld bietet als die meisten gängigen Displays (Gesamt-FOV von 150 Grad horizontal und 88 Grad vertikal). Das Display verwendet eine variable Auflösung mit höherer Pixeldichte im zentralen Bereich und niedrigerer Auflösung in der Peripherie. Wir haben den durchschnittlichen Pupillenabstand der Bevölkerung von 2,56 Zoll verwendet. Zusätzlich wurden Kopfhörer getragen, um den Teilnehmern Audioanweisungen zu erteilen und Umgebungsgeräusche passiv zu übertönen. Es sollte beachtet werden, dass wir, obwohl wir ein breites FOV-Display verwendet haben, keine Barriere um die Ränder des Displays gelegt haben, um die visuelle Darstellung der Teilnehmer aus der peripheren Sicht der Teilnehmer zu blockieren.

Die Verfolgung wurde unter Verwendung eines Phasespace Impulse Motion Capture-Systems durchgeführt, das eine optische Verfolgung von außen nach innen unter Verwendung einer Anordnung von 46 hochauflösenden Kameras ermöglichte, die in einem kreisförmigen Muster mit einem ungefähren Radius von 20' angeordnet waren. Auf dem am Kopf montierten Display waren fünf LED-Markierungen angebracht, die einen starren Körper bildeten, der mit sechs Freiheitsgraden bei 480 Hz verfolgt wurde. Während der VR-Sitzungen waren zwei Experimentatoren anwesend, um die Kabel zu verwalten

um zu verhindern, dass Teilnehmer stolpern. Das Experiment wurde auf einem dualen Intel Core i7 2,93-GHz-PC mit insgesamt acht Kernen unter Windows Vista mit 6 GB RAM und einer NVIDIA 9800 GT-Grafikkarte ausgeführt. Jedes Auge wurde mit 60 Bildern pro Sekunde gerendert.

5.4 Methoden

Das experimentelle Verfahren war das gleiche wie in Experiment 1 (siehe Abschnitt 4.4); Wir haben jedoch unsere Maßnahmen erweitert, um zusätzliche Informationen zu sammeln. Zuerst haben wir der Virtual-Reality-Sitzung einen Zeigetest hinzugefügt. In regelmäßigen Abständen erhielten die Teilnehmer über ihre Kopfhörer aufgezeichnete Audioanweisungen, die sie aufforderten, anzuhalten und auf ihren Startort in der virtuellen Welt zurückzukehren, indem sie sich drehten, bis ein Pfeil auf dem Bildschirm in die richtige Richtung zeigte, und dann eine Taste drückten eine Handheld-Nintendo Wii-Fernbedienung. Dieser Test wurde durchgeführt, um Informationen darüber zu sammeln, wie gut sich die Teilnehmer nach dem Szenenwechsel neu orientieren konnten. Es gab insgesamt vier Zeigeveruche, einmal pro mittlerem Raum in jedem Flur. Die Hälfte der Zeigeveruche wurde vor dem Szenenwechsel abgeschlossen, als sich der Teilnehmer dem Computerbildschirm näherte, und die Hälfte war nach dem Szenenwechsel fertig, als sich der Teilnehmer umdrehte und sich der veränderten Tür näherte. Die Reihenfolge der Präsentation war über die Bedingungen hinweg ausgewogen. Wir haben den Winkelfehler für jeden Zeigeveruch in Grad aufgezeichnet.

Nachdem die Teilnehmer den Sketch-Map-Test abgeschlossen hatten, baten wir sie auch, eine grobe Karte eines einzelnen Büros auf einem separaten Blatt Papier zu skizzieren. Unsere primäre Ergebnismessung für diesen Test bestand darin, aufzuzeichnen, wo sich die Teilnehmer an die Tür erinnern: in der Ecke vor dem Szenenwechsel, in der Ecke nach dem Szenenwechsel oder in der Mitte der Wand. Diese Ergebnisse sollten charakterisieren, wie die Teilnehmer die durch den Szenenwechsel verursachten widersprüchlichen räumlichen Informationen interpretierten. Diese Informationen könnten erklären, ob sich die Teilnehmer auf ihre ersten Eindrücke verlassen, ihr ursprüngliches mentales Modell überschrieben oder die widersprüchlichen Merkmale auf irgendeine Weise kombiniert haben.

Schließlich haben wir auch einige Änderungen am Fragebogen für virtuelle Erfahrungen vorgenommen. Um die Mehrdeutigkeit in der Liste der eingebetteten Fragen zu verringern, haben wir die Aussage "Ich hatte das Gefühl, mich im Kreis zu drehen" in "Ich hatte das Gefühl, umgedreht zu werden" geändert. Im qualitativen Teil haben wir die folgenden Leitfragen gestellt, um genauer darzulegen, was die Teilnehmer während ihrer Erfahrung bemerkt und gefühlt haben: (1) „Haben Sie sich zu irgendeinem Zeitpunkt während Ihrer Erfahrung umgedreht gefühlt? Wenn ja, beschreiben Sie bitte, wie Sie sich gefühlt haben und wann Sie es gefühlt haben.“ (2) Sie haben eine sehr große virtuelle Umgebung erkundet. Das Gehgebiet, in dem Sie sich tatsächlich befanden, war jedoch viel kleiner. Wie denkst du ist das passiert?“ (3) „Wenn Sie sich in jedem Raum befanden, haben bestimmte Objekte oder Strukturen im Raum ihren Standort geändert, während Sie den Rücken gekehrt haben. Wenn du kannst, Bitte identifizieren Sie, was sich geändert hat und wie es sich geändert hat.“ (4) „Wenn Sie bemerkt haben, dass sich etwas geändert hat, wie hat sich dies auf Ihre Erfahrung mit der virtuellen Welt ausgewirkt?“

5.5 Ergebnisse

Aufgrund der Tatsache, dass so wenige unserer Teilnehmer erfahrene Spieler waren (8 von 40), hatten wir nicht genügend Daten, um die Erfahrung mit 3D-Videospielen in die Analysen für dieses Experiment einzubeziehen.

5.5.1 Zeigetest

Fig. 6 zeigt die mittleren Testfehler beim Zeigen in Grad für jede der FOV-Bedingungen. Diese Ergebnisse wurden mit einer gemischten 2×2 -ANOVA behandelt, wobei der Zwischensubjektfaktor des Sichtfelds (breit oder schmal) und der Präsentationsfaktor innerhalb der Subjekte (vor oder nach dem Szenenwechsel in jedem Raum) getestet wurden. Teilnehmer, die das breite Sichtfeld verwendeten, konnten genauer auf ihren Startort in der virtuellen Welt zurückweisen als Teilnehmer, die ein enges Sichtfeld verwendeten. $F(1,38) = 4,43$, p

$= 0,04$, $\eta^2_p = .10$. Der Haupteffekt für die Präsentationsmethode war nicht von Bedeutung, $p = .51$, noch war der Interaktionseffekt, $p = .87$.

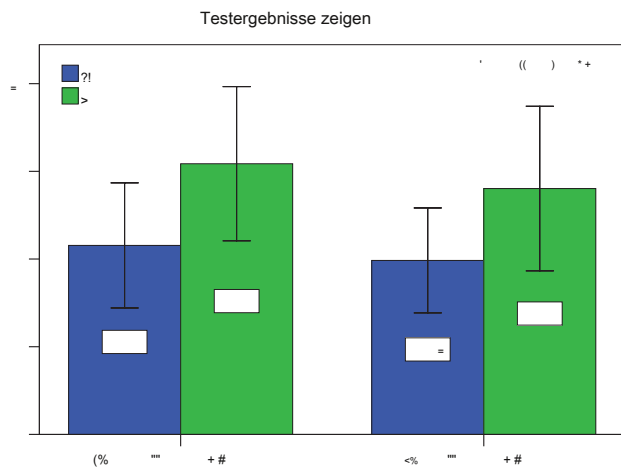


Abbildung 6: Mittlere Fehler aus dem Zeigertest (in Grad) unter den Bedingungen eines breiten und engen Sichtfelds. Teilnehmer, die das weite Sichtfeld verwendeten, konnten genauer auf ihren Startort in der virtuellen Welt zurückweisen als Teilnehmer, die das enge Sichtfeld verwendeten, unabhängig davon, ob der Test vor oder nach dem Szenenwechsel in jedem Raum stattfand.

5.5.2 Eingebettete Fragen

Die mittleren Bewertungen für jede der eingebetteten Fragen waren ähnlich zu Experiment 1. Die Bewertungen für die Täuschungsfragen lagen im Bereich von 0,52 bis 1,50. Die Ergebnisfrage, die sich speziell auf die Veränderung der Blindheit bezog: „Ich habe gesehen, dass sich etwas in der virtuellen Welt bewegt hat“, war insgesamt wieder niedrig ($M = 0,67$, $SD = 1,59$). Die überarbeitete Ergebnisfrage „Ich hatte das Gefühl, umgedreht zu werden“ war immer noch die höchste Bewertung ($M = 2,48$, $SD = 2,46$). Unabhängige Proben t-Tests zur Bewertung der Wirkung des Sichtfeldes waren auch für die erstere Ergebnisfrage nicht von Bedeutung. $p = .92$ oder letzteres, $p = .34$.

5.5.3 Skizzenkarten

Wir haben die Skizzenkarte eines Teilnehmers von dieser Analyse ausgeschlossen, der die Anweisungen nicht verstanden hat. Im Durchschnitt wurden Sketch-Map-Scores als strukturell ähnlich dem von uns beabsichtigten statischen Umgebungslayout eingestuft ($M = 3,67$, $SD = 1,00$). Obwohl die Noten nicht so hoch waren wie in Experiment 1, deutet dies erneut darauf hin, dass die Teilnehmer eine mentale Karte verinnerlicht, obwohl sich das Layout der Umgebung dynamisch änderte. Eine unabhängige Stichprobe

t-Test auf die Wirkung des FOV war nicht signifikant, $p = .29$. Die Analyse der einzelnen Bürokarten ergab, dass 22 Karten die Tür in ihrer ursprünglichen Ecke (die Position der Tür vor dem Szenenwechsel) darstellten, eine in der anderen Ecke (die Position der Tür nach dem Szenenwechsel) und 14 sie platzierten in der Mitte der Wand (Vermischung der beiden Stellen), und drei fehlten die Tür oder waren nicht schlüssig. Ein χ^2 Test auf die Wirkung des FOV war nicht signifikant, $p =$

. 37.

5.5.4 Sonstige Maßnahmen

Die durchschnittlichen Werte für die SUS-Präsenz waren insgesamt mäßig hoch ($M = 5,40$, $SD = 1,07$) und eine unabhängige Stichprobe t-Test auf die Wirkung der FOV-Ergebnisse war nicht signifikant, $p = .36$. Die Krankheitswerte des Simulators wurden mit einer gemischten 2×2 -ANOVA behandelt, wobei der Faktor zwischen den Subjekten des Sichtfelds und der Faktor innerhalb der Subjekte der Zeit (vor oder nach der VR-Sitzung) getestet wurden. Die Simulatorkrankheit hat gegenüber zuvor nicht signifikant zugenommen ($M = 8,88$, $SD = 12,95$) bis nach dem Eintauchen ($M = 9,72$, $SD = 15,36$), $p = .63$. Der Haupteffekt für das Sichtfeld war nicht signifikant, $p = .98$, noch war der Interaktionseffekt, $p =$

96

5.6 Diskussion

Insgesamt stimmen unsere Ergebnisse dieser Studie mit den Ergebnissen des ersten Experiments überein. Wir beobachteten weniger Vermutungen in den Fragebögen, obwohl dies möglicherweise auf Unterschiede in unseren Bevölkerungss Stichproben zurückzuführen ist, da die Teilnehmer des ersten Experiments Universitätsstudenten waren, während die zweite Studie aus einer allgemeineren Bevölkerung stammte. Als keiner der Teilnehmer gefragt wurde, was sich im qualitativen Fragebogen geändert hat, gab er an, dass er die Szenenänderung während seiner VR-Sitzung bemerkt hat. Ein Teilnehmer konnte es jedoch herausfinden, nachdem er die wichtigsten Fragen gelesen und über die Erfahrung nachgedacht hatte. Er schrieb: „Jetzt, wo ich darüber nachdenke, habe ich das Gefühl, dass die Tür den Ort gewechselt zu haben schien und nicht dort war, wo ich es erwartet hatte es soll sein (dies könnte passiert sein, während ich auf den Computerbildschirm schaute). Aber bevor ich diese Frage las, dachte ich, das lag nur daran, dass es sich um die virtuelle Umgebung handelt und ich nicht daran gewöhnt bin. Ich bin mir also nicht sicher.“ In einer Folgefrage, um festzustellen, wie sich dies auf die Erfahrung auswirkte, erklärte dieser Teilnehmer weiter: „Es hat nicht viel beeinflusst. In der virtuellen Welt dachte ich, alles sei normal.“ Diese interessante Anekdote legt nahe, dass Wahrnehmungsimaginationen in einer virtuellen Welt breite Anwendung finden können, da einige Menschen ihre Unsicherheit möglicherweise darauf zurückführen, dass sie sich in einer unbekannten, simulierten Umgebung befinden. Ähnlich wie beim ersten Experiment erhielten wir viele positive Kommentare, die auf die Wirksamkeit der Umleitungstechnik hinwiesen, wie zum Beispiel: „Mein Geist war von dem Laufraum vor mir überzeugt. Ich habe den langen Gängen geglaubt, die ich gesehen habe.“ Und, Ich könnte tatsächlich umgedreht worden sein. aber ich habe mich nicht so gefühlt.“ Einige Teilnehmer schrieben jedoch Kommentare wie: „Als ich jeden Raum verließ und mich auf dem Flur umdrehte, dachte ich, ich würde mich im Kreis bewegen“, obwohl zu beachten ist, dass einige unserer kostenlosen Antwortfragen absichtlich dazu führten, diese herauszuarbeiten Art von Eindrücken. Interessanterweise gaben viele Teilnehmer an, als sie gefragt wurden, wie sie in einer virtuellen Umgebung laufen könnten, die größer als der physische Raum ist, dass sie es nicht wüssten, und skalierte Techniken für den translokatorischen Gewinn waren ein häufiger Vorschlag unter denjenigen, die sich für Spekulationen entschieden.

Die einzelnen Büroarten deuten darauf hin, dass die meisten Teilnehmer an ihren ersten Eindrücken von der Umwelt festhielten, was eine der vorgeschlagenen Hypothesen zur Erklärung der Veränderungsblindheit ist [21]. Diejenigen, die die Tür in die Mitte der Wand zogen, konnten entweder dadurch erklärt werden, dass die spezifische Position der Tür nicht in ihren mentalen Karten gespeichert wurde, oder durch die Kombination der widersprüchlichen räumlichen Merkmale. Unsere Ergebnisse stützen jedoch nicht die Hypothese, dass die ursprünglichen Szeneninformationen überschrieben würden. Es war interessant, dass das Anwenden des Szenenwechsels unmittelbar vor dem Zeigertest die Zeigegenauigkeit der Teilnehmer nicht verringerte. Obwohl der Unterschied in den Fehlern vor und nach der Umleitung nicht signifikant war, zeigten die Teilnehmer im Durchschnitt nach dem Szenenwechsel tatsächlich etwas genauer auf den Startort, obwohl die relative Position dieses Punktes in der virtuellen Welt drastisch verschoben worden war. Daher liegen unsere Ergebnisse nahe, dass die Teilnehmer die Tür und den Flur als räumliche Hinweise verwendeten, um sich relativ zur Umgebung zu orientieren, obwohl diese Merkmale manipuliert wurden. Eine sekundäre Erkenntnis dieser Studie ist, dass die Teilnehmer bei Verwendung eines breiten Sichtfelds wesentlich genauer waren als bei herkömmlichen Head-Mounted-Displays. Dies steht im Einklang mit mehreren früheren Studien zum Sichtfeld in virtuellen Umgebungen [1] [11] [12]. Schließlich deuten unsere Ergebnisse der Simulatorkrankheit darauf hin, dass die Zunahme der während des ersten Experiments gemeldeten Symptome möglicherweise auf das verwendete spezielle VR-Setup und nicht auf die Umleitungsmethode zur Änderung der Blindheit zurückzuführen ist.

6 C. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND F. UTURE W. ORK

In diesem Artikel haben wir die Umleitung der Änderungsblindheit beschrieben, eine neuartige Umleitungstechnik, mit der reales Gehen durch große virtuelle Umgebungen auf engstem Raum ohne Einführung von Sen-

siomotorische Konflikte. Obwohl das in unseren Experimenten getestete Szenario stark eingeschränkt war, sollten unsere Studien die Wirksamkeit der Illusion der Veränderungsblindheit untersuchen und keinen verallgemeinerbaren Umleitungsalgorithmus präsentieren. Die Ergebnisse dieser Studien waren vielversprechend, da nur einer von 77 Teilnehmern definitiv feststellen konnte, dass bei der Erkundung der virtuellen Umgebung ein Szenenwechsel stattgefunden hatte. Wir schließen daraus, dass die Umleitung der Änderungsblindheit eine bemerkenswert überzeugende Illusion darstellt, obwohl sie auf Umgebungen beschränkt ist, in denen die Architektur manipuliert werden kann. Die Verallgemeinerung der Umleitung der Änderungsblindheit zur Verwendung in verschiedenen Umgebungen ist jedoch eine wichtige Richtung für die zukünftige Arbeit. Während Change Blindness-Techniken in beengten Innenräumen gut funktionieren, Andere Umleitungstechniken haben je nach Umgebung und Situation auch ihre eigenen Vor- und Nachteile. Mit einer Vielzahl von Umleitungstechniken schlagen wir vor, dass eine allgemein anwendbare umgeleitete Gehlösung durch Anwenden mehrerer Techniken in einer einzigen Umgebung erreicht werden kann.

7 A. BESTÄTIGUNGEN

Die Autoren möchten Mary Whitton für ihr nachdenkliches Feedback zu dem Papier sowie den IKT-Mitarbeitern und Studenten danken, die an den Studien mitgewirkt haben, darunter David Nelson, Thai Phan und Kedar Reddy.

R. EFERENZEN

- [1] K. Arthur. Auswirkungen des Sichtfelds auf die Leistung bei Kopfmontage Anzeigen. Doktorarbeit, Universität von North Carolina in Chapel Hill, 2000.
- [2] M. Billinghurst und S. Weghorst. Die Verwendung von Sketch Maps zum Messen kognitive Karten virtueller Umgebungen. Im Verfahren des Virtuellen Reality Annual International Symposium, Seiten 40–47, 1995.
- [3] V. Bruce, P. Green und M. Georgeson. Visuelle Wahrnehmung: Physiologie, Psychologie und Ökologie. Psychology Press, New York, 2003.
- [4] G. Bruder, F. Steinicke und KH Hinrichs. Arch-Explore: Ein Naturale Benutzeroberfläche für umfassende architektonische exemplarische Vorgehensweisen. Im IEEE Symposium über 3D-Benutzeroberflächen, Seiten 75–82, 2009.
- [5] G. Bruder, F. Steinicke, KH Hinrichs und M. Lappe. Neuorientierung während Körperdrehungen. Im Gemeinsame Virtual Reality Konferenz von EGVE - ICAT - EuroVR, Seiten 145–152, 2009.
- [6] K. Cater, A. Chalmers und C. Dalton. Unterschiedliche Rendering-Genauigkeit durch Ausnutzung der Blindheit des menschlichen Wandels. Im Internationale Konferenz über Computergrafik und interaktive Techniken in Australasien und Südostasien, Seiten 39–46, 2003.
- [7] D. Engel, C. Curio, L. Tcheang, B. Mohler und SH Bülthoff. Eine Psychophysikalisch kalibrierter Controller zum Navigieren durch große Umgebungen auf engstem Raum. Im ACM Virtual Reality Software & Technologie, Seiten 157–164, 2008.
- [8] V. Interrante, B. Ries und L. Anderson. Sieben Ligastiefel: Ein neuer Metapher für verstärkte Fortbewegung durch mittelgroße immersive virtuelle Umgebungen. Im IEEE-Symposium zu 3D-Benutzeroberflächen, Seiten 167–170, 2007.
- [9] J. Jerald, T. Peck, F. Steinicke und M. Whitton. Empfindlichkeit gegenüber der Szene Bewegung für Phasen des Gierens des Kopfes. Im Symposium zur angewandten Wahrnehmung in Grafik und Visualisierung, Seiten 155–162, 2008.
- [10] R. Kennedy, N. Lane, K. Berbaum und M. Lilienthal. Simulator krank-Fragebogen: Eine erweiterte Methode zur Quantifizierung des Simulators Krankheit. Internationale Zeitschrift für Luftfahrtpsychologie, 3 (3): 203–220, 1993.
- [11] P. Kline und B. Witmer. Entfernungswahrnehmung in virtuellen Umgebungen: Auswirkungen des Sichtfelds und der Oberflächentextur in der Nähe. Im Mensch 40. Jahrestagung der Gesellschaft für Faktoren und Ergonomie, Seiten 1112–1116, 1996.
- [12] S. Lessels und RA Ruddle. Änderungen im Navigationsverhalten Produziert von einem weiten Sichtfeld und einer hochfeinen visuellen Szene. Im EU-graphics Symposium on Virtual Environments, Seiten 71–78, 2004.
- [13] J. Lishman und D. Lee. Die Autonomie der visuellen Kinästhesie. Perception, 2 (3): 287–294, 1973.
- [14] MW Matlin. Erkenntnis: Siebte Ausgabe. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2009.
- [15] M.-L. Mittelstaedt und H. Mittelstaedt. Idiothetische Navigation beim Menschen: Schätzung der Weglänge. Experimentelle Hirnforschung, 139 (3): 318–332, 2001.
- [16] TC Peck, H. Fuchs und MC Whitton. Evaluierung von Neuorientierungstechniken und Ablenkern für das Gehen in großen virtuellen Umgebungen mente. IEEE-Transaktionen zu Visualisierung und Computergrafik, 15 (3): 383–394, 2009.
- [17] TC Peck, H. Fuchs und MC Whitton. Verbesserte Umleitung mit Ablenkern: Eine großflächige Schnittstelle für die reale Fortbewegung und ihre Auswirkungen auf die Navigation in virtuellen Umgebungen. Im IEEE Virtual Reality, Seiten 35–38, 2010.
- [18] W. Phillips und W. Singer. Funktion und Interaktion von Ein- und Aus-Transienten im Sehen. Experimentelle Hirnforschung, 19: 493–506, 1974.
- [19] S. Razaque. Umgeleitetes Gehen. Doktorarbeit, Universität von North Carolina in Chapel Hill, 2005.
- [20] RA Ruddle und S. Lessels. Die Vorteile der Verwendung einer Laufschnittstelle zum Navigieren in virtuellen Umgebungen. ACM-Transaktionen zur Interaktion zwischen Computer und Mensch, 16 (1): 1–18, 2009.
- [21] DJ Simons. Aktuelle Ansätze zur Veränderung der Blindheit. Visuelle Wahrnehmung, 7 (1): 1–15, 2000.
- [22] F. Steinicke, G. Bruder, KH Hinrichs und P. Willemsen. Ändern Sie Blindheitsphänomene für stereoskopische Projektionssysteme. Im IEEE Virtual Reality, Seiten 187–194, 2010.
- [23] F. Steinicke, G. Bruder, J. Jerald, H. Frenz und M. Lappe. Schätzung der Erkennungsschwellen für umgeleitete Gehtechiken. IEEE Transaktionen zu Visualisierung und Computergrafik, 16 (1): 17–27, 2010.
- [24] E. Suma, S. Finkelstein, S. Clark, P. Goolkasian und L. Hodges. Auswirkungen von Reisetchnik und Geschlecht auf eine geteilte Aufmerksamkeitsaufgabe in einer Virtuellen Umgebung. Im IEEE-Symposium zu 3D-Benutzeroberflächen, Seiten 27–34, 2010.
- [25] E. Suma, S. Finkelstein, M. Reid, S. Babu, A. Ulinski und L. Hodges. Bewertung der kognitiven Effekte der Reisetchnik in komplexen Real und virtuelle Umgebungen. IEEE-Transaktionen zur Visualisierung und Computergrafik, 16: 690–702, 2010.
- [26] RM Taylor, TC Hudson, A. Seeger, H. Weber, J. Juliano und AT Helser. VRPN: ein geräteunabhängiger, netzwerktransparenter VR-Peripherallgemeines System. Im ACM Virtual Reality Software & Technologie, Seiten 55–61, 2001.
- [27] J. Triesch, BT Sullivan, MM Hayhoe und DH Ballard. Sakkade Kontingentaktualisierung in der virtuellen Realität. Im Symposium zur Blickverfolgung Forschung & Anwendungen, Seiten 95–102, 2002.
- [28] M. Ush, K. Arthur, MC Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater, und FP Brooks. Gehen> Gehen an Ort und Stelle> Fliegen in virtuellen Umgebungen. Im ACM SIGGRAPH, Seiten 359–364, 1999.
- [29] M. Ush, E. Catena, S. Arman und M. Slater. Verwenden von Anwesenheitsfragen in der Realität. Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen, 9 (5): 497–503, 2000.
- [30] G. Wallis und H. Bülthoff. Was ist Szene und nicht gesehen: Einflüsse von Bewegung und Aufgabe auf das, was wir sehen. Im Visuelle Wahrnehmung, Seiten 175–190, 2000.
- [31] B. Williams, G. Narasimham, TP McNamara, TH Carr, JJ Rieser, und B. Bodenheimer. Aktualisieren der Ausrichtung in großen virtuellen Umgebungen mithilfe des skalierten Translationsgewinns. Im Symposium über angewandte Per-Konzeption in Grafik und Visualisierung, Seiten 21–28, 2006.
- [32] B. Williams, G. Narasimham, B. Rump, TP McNamara, TH Carr, J. Rieser und B. Bodenheimer. Erkunden großer virtueller Umgebungen mit einem HMD, wenn der physische Speicherplatz begrenzt ist. Im Symposium über Ap-Wahrnehmung in Grafik und Visualisierung, Seiten 41–48, 2007.
- [33] X. Xie, Q. Lin, H. Wu, G. Narasimham, TP McNamara, J. Rieser, und B. Bodenheimer. Ein System zur Erkundung großer virtueller Umgebungen, das skalierten Translationsgewinn und Interventionen kombiniert. Im Symposium zur angewandten Wahrnehmung in Grafik und Visualisierung, Seiten 65–72, 2010.
- [34] CA Zambaka, BC Lok, SV Babu, AC Ulinski und LF Hodges. Vergleich von Pfadvisualisierungen und kognitiven Maßnahmen in Bezug auf die Reisetchnik in einer virtuellen Umgebung. IEEE-Transaktionen auf Visualisierung und Computergrafik, 11 (6): 694–705, 2005.