

Erkunden großer virtueller Umgebungen mit einem HMD, wenn physischer Speicherplatz vorhanden ist

Begrenzt

Betsy Williams *, Gayathri Narasimham *, Bjoern Rumpf *, Timothy P. McNamara *,
Thomas H. Carr *, John Rieser *, und Bobby Bodenheimer *
Vanderbilt University

Abstrakt

Virtuelle Umgebungen, die über Head-Mounted Displays (HMDs) dargestellt werden, werden häufig zu Fuß erkundet. Die Erkundung zu Fuß ist nützlich, da die afferenten und efferenten Hinweise auf die körperliche Fortbewegung das räumliche Bewusstsein unterstützen. Die Größe der virtuellen Umgebung, die zu Fuß erkundet werden kann, ist jedoch auf die Abmessungen des Verfolgersraums des HMD beschränkt, sofern keine anderen Strategien verwendet werden. In diesem Artikel wird ein System zur Erkundung einer großen virtuellen Umgebung zu Fuß vorgestellt, wenn die physische Umgebung klein ist, indem die natürliche Fähigkeit der Menschen zur räumlichen Aktualisierung genutzt wird. In diesem Dokument werden drei Methoden zum „Zurücksetzen“ von Benutzern vorgestellt, wenn diese die physischen Grenzen des HMD-Tracking-Systems erreichen.

CR Kategorien: I.3.m [Computergrafik]: Verschiedenes - Wahrnehmung

Schlüsselwörter: Virtuelle Realität (VR), Raumwahrnehmung

1. Einleitung

Die virtuelle Realität bietet Menschen die Möglichkeit, Orte und Situationen zu erleben, die von ihrer tatsächlichen physischen Umgebung entfernt sind. Sie ermöglichen es den Menschen möglicherweise, etwas über eine Umgebung zu lernen, die aus Gründen der Zeit, der Entfernung, der Kosten und der Sicherheit sonst nicht verfügbar wäre. Virtual-Reality-Systeme könnten einen enormen Einfluss auf Bildung, Unterhaltung, Medizin, Architektur und Ausbildung haben, werden jedoch aufgrund ihrer Kosten und Feinheit nicht häufig eingesetzt. Die HMD-Technologie (Head-Mounted Display) könnte jedoch in den nächsten Jahren für die Öffentlichkeit leicht verfügbar sein. Andere immersive virtuelle Technologien wie virtuelle Höhlen erreichen mit geringerer Wahrscheinlichkeit den Warenstatus, da sie häufig höhere Kosten in Form von großen Bildschirmen, Projektoren usw. verursachen. Eine Fortbewegungsvorrichtung wie ein Laufband oder ein Fahrrad, die es einem Benutzer ermöglicht, sich in der Umgebung zu bewegen. Da HMD-Systeme das Versprechen haben, der Öffentlichkeit leicht zugänglich zu sein, müssen Einschränkungen des Systems identifiziert und angegangen werden. Ein Hauptnachteil von HMD-basierten Systemen ist der begrenzte Platz, der für die Erkundung zur Verfügung steht. In dieser Arbeit wird eine Möglichkeit untersucht, die virtuelle Realität zu manipulieren, um die Möglichkeiten eines HMD-Systems zu erweitern, virtuelle Räume zu erkunden und zu erleben, die größer sind als die physischen Grenzen des HMD-Tracking-Systems. Im Einzelnen geht es in dieser Arbeit um das „Zurücksetzen“. In dieser Arbeit wird eine Möglichkeit untersucht, die virtuelle Realität zu manipulieren, um die Möglichkeiten eines HMD-Systems zu erweitern, virtuelle Räume zu erkunden und zu erleben, die größer sind als die physischen Grenzen des HMD-Tracking-Systems. Im Einzelnen geht es in dieser Arbeit um das „Zurücksetzen“. In dieser Arbeit wird eine Möglichkeit untersucht, die virtuelle Realität zu manipulieren, um die Möglichkeiten eines HMD-Systems zu erweitern, virtuelle Räume zu erkunden und zu erleben, die größer sind als die physischen Grenzen des HMD-Tracking-Systems. Im Einzelnen geht es in dieser Arbeit um das „Zurücksetzen“.

* {betsy.williams, gayathri.narasimham, bjoern.rumpf, t.mcnamara, tom.carr, j.rieser,

bobby.bodenheimer}@vanderbilt.edu

Copyright © 2007 der Association for Computing Machinery, Inc.

Die Erlaubnis, digitale oder gedruckte Kopien eines Teils oder des gesamten Werks für den persönlichen Gebrauch oder den Unterricht zu erstellen, wird kostenlos erteilt, sofern keine Kopien zum kommerziellen Vorteil angefertigt oder verteilt werden und die Kopien diesen Hinweis und das vollständige Zitat auf der ersten Seite tragen. Urheberrechte für Komponenten dieser Arbeit, die anderen als ACM gehören, müssen anerkannt werden. Das Abstrahieren mit Kredit ist erlaubt. Um etwas anderes zu kopieren, erneut zu veröffentlichen, auf Servern zu veröffentlichen oder auf Listen weiterzugeben, ist eine vorherige Genehmigung und / oder eine Gebühr erforderlich. Fordern Sie Berechtigungen bei Permissions Dept, ACM Inc., per Fax +1 (212) 869-0481 oder per E-Mail an

permissions@acm.org.

APGV 2007, Tübingen, 26. bis 27. Juli 2007. © 2007 ACM

978-1-59593-670-7 / 07/0007 5,00 USD

Probanden, wenn sie die Grenzen des Tracking-Systems erreichen. Beim Zurücksetzen muss der optische Fluss so manipuliert werden, dass Benutzer sich von einem physischen Hindernis wie einer Wand entfernen können, während sie kontinuierlich ihren Standort im virtuellen Raum wahrnehmen.

HMD-basierte virtuelle Umgebungen werden häufig zu Fuß erkundet. Fußerkundung ist nützlich, da die Trägheitsmerkmale der physischen Fortbewegung das räumliche Bewusstsein unterstützen. Die Größe der virtuellen Umgebung, die untersucht werden kann, ist auf die Abmessungen des Verfolgersraums des HMD beschränkt, sofern keine andere Erkundungsmethode verwendet wird. Eine naheliegende Lösung für die Erkundung einer großen virtuellen Umgebung besteht darin, einen Joystick zu verwenden, um in der virtuellen Umgebung frei zu übersetzen. Es wurde gezeigt, dass diese Methode der körperlichen Fortbewegung unterlegen ist [Chance et al. 1998; Ruddle and Lessels 2006; Lathrop und Kaiser 2002]. Andere Methoden, z. B. [Templeman et al. 1999; Slater et al. 1995; Razzaque et al. 2001; Nitzsche et al. 2004; Usch et al. 1999] wurden ebenfalls vorgeschlagen, und wir untersuchen diese in Abschnitt 2. Unsere früheren Arbeiten [Williams et al. 2006], manipulierte den Translationsgewinn des Gehens, so dass ein Schritt vorwärts in der physischen Umgebung mehreren Schritten vorwärts in der virtuellen Umgebung entspricht. Zwei Experimente haben gezeigt, dass die Erhöhung des Translationsgewinns beim Gehen eine nützliche Methode zum Navigieren in großen virtuellen Räumen ist und der Joystick-Erkundung überlegen ist. Wir stellen im Allgemeinen fest, dass die räumliche Ausrichtung der Probanden beim normalen Gehen und Gehen mit einem Translationsgewinn von zehn ähnlich war. Um jedoch ein Schlachtfeld oder eine Stadt mit dieser Technik zu erkunden, wären zusätzliche Strategien erforderlich. Darüber hinaus können die physikalischen Grenzen des Verfolgungssystems erreicht werden, unabhängig davon, wie hoch die Verstärkung skaliert ist. In diesem Artikel wird daher die Arbeit an einer solchen zusätzlichen Strategie vorgestellt, mit der Subjekte zurückgesetzt werden, wenn sie gehen und das Ende des physischen Raums erreichen. Mit dieser Strategie Wir bewerten die Fähigkeit von Personen, sich bei räumlichen Aktualisierungen während dieser Zurücksetzungen auf visuelle Informationen zu verlassen. Wir bewerten drei Methoden zum Zurücksetzen der Position, während Probanden in kleinen physischen Verfolgungsräumen gehen, um große virtuelle Räume zu erkunden. Wir nennen diese drei Methoden Freeze-Backup, Freeze-Turn und 2: 1-Turn.

Nach Abschluss eines Resets fahren Benutzer auf demselben virtuellen Pfad, den sie zurückgelegt haben. Bei der Freeze-Backup-Methode erhält der Benutzer mehr Platz für die virtuelle Erkundung, indem er Schritte rückwärts unternimmt, während er an einer festen Position in der virtuellen Umgebung eingefroren ist. Bei den beiden anderen Methoden, Freeze-Turn und 2: 1-Turn, überwinden Benutzer physische Hindernisse, indem sie sich physisch um 180 drehen und Beibehaltung derselben Position im virtuellen Raum vor und nach der Wende. Während eines Freeze-Turn-Resets wird die Ausrichtung des Benutzers eingefroren, während sich das Motiv um 180 dreht. In der 2: 1-Umdrehungsbedingung wird die Verstärkung der Umdrehung verdoppelt, so dass 180° Die Drehung im physischen Raum entspricht 360° im virtuellen Raum drehen.

Diese Arbeit ist wichtig, da unser zukünftiges Ziel darin besteht, die Ergebnisse dieses Papiers mit unseren früheren Arbeiten zur Skalierung des Translationsgewinns beim Gehen zu erweitern und zu integrieren [Williams et al. 2006]. Das resultierende System sollte es einer Person ermöglichen, große virtuelle Umgebungen nahtlos zu erkunden. Das hier vorgesehene System könnte in einem Büro oder einem kleinen Labor basieren. Insbesondere wenn immersive virtuelle Umgebungen ihr Potenzial als Komponenten auf Warenebene ausschöpfen sollen, muss eine wahrnehmungsgenaue Schnittstelle entwickelt werden, die die Fortbewegung innerhalb der alltäglichen Grenzen ermöglicht.

2. Hintergrund

Frühere Forschungen haben verschiedene Techniken zum Navigieren in einer großen virtuellen Umgebung untersucht. Mit haptischen Geräten wie einem Joystick oder einer Tastatur können Benutzer große Umgebungen virtuell erkunden [Ruddle et al. 1999; Bowman et al. 1999; Waller et al. 1998; Darken und Sibert 1996], aber Studien haben gezeigt, dass die Verwendung einer physischen bipedalen Fortbewegung anstelle von haptischen Geräten eine signifikant bessere räumliche Orientierung bewirkt [Chance et al. 1998; Ruddle and Lessels 2006; Lathrop und Kaiser 2002]. Templeman et al. [Templeman et al. 1999] und Slater et al. [1995] lassen die Teilnehmer „an Ort und Stelle gehen“, um sich durch große virtuelle Umgebungen zu bewegen, aber dieser Technik fehlen die gleichen propriozeptiven Hinweise für das Gehen. Eine andere Methode zur Navigation einer großen virtuellen Umgebung besteht darin, die Rotation so zu manipulieren, dass die Fortbewegung des Subjekts innerhalb der Grenzen des Verfolgungssystems liegt [Razzaque et al. 2001; Nitzsche et al. 2004]. Razzaque et al. [Razzaque et al. 2001] untersuchen die Fähigkeit der Probanden, sich zu einer Reihe von fünf Zielen zu bewegen, die sie als „Wegpunkte“ bezeichnen. In dieser Studie wird der virtuelle Raum leicht gedreht, während das Subjekt zum Wegpunkt geht, und dann in größerem Maße, wenn das Subjekt nach diesen Wegpunkten sucht. Dieses Verfahren erfordert einen großen Verfolgungsbereich, damit die Rotationsmanipulation nicht wahrnehmbar ist, und ist keine vollständige Lösung, da leicht eine Situation auftreten kann, in der die physikalischen Grenzen des Verfolgungssystems erreicht werden. Virtuelles Fliegen [Usuh et al. 1999] und Teleportieren sind weitere Möglichkeiten, große virtuelle Umgebungen zu erkunden. Dennoch fehlt ihnen das Feedback der Lokomotive. Andere Systeme umfassen große Bildschirmhöhlen mit einem Fortbewegungseingang wie ein Fahrrad oder ein Laufband. Höhlensysteme sind teuer und enthalten meist nur drei virtuelle Wände. Laufbandsysteme sind schwierig und teuer zu bauen und bieten genügend Freiheitsgrade, um eine kostenlose Erkundung zu ermöglichen.

In dieser Studie haben wir die physikalische Rotation skaliert. Kuhl [2004] und Pick et al. [1999] haben gezeigt, dass Menschen Rotationen neu kalibrieren können. Obwohl wir nicht nach einer Neukalibrierung suchen, zeigt diese Arbeit, dass Menschen die räumliche Orientierung beibehalten können, wenn der Rotationsgewinn des Drehens nicht ihr eigener ist. Untersuchungen zeigen, dass physikalische Richtungsänderungen bei der Entwicklung räumlichen Wissens wichtiger sind als physikalische Übersetzung [Presson und Montello 1994; Rieser 1989; Rieser et al. 1995]. Diese Feststellung ist wichtig, da wir die Übersetzungen in einer Rücksetzbedingung und die Rotationen in den anderen beiden manipulieren. Das in diesem Artikel vorgestellte Experiment verwendet eine räumliche Orientierungsaufgabe, bei der sich die Probanden einer Richtung zuwenden, ähnlich der Zeigeaufgabe von Rieser und anderen [Rieser 1989; Klatzky et al. 1998; Kearns et al. 2002].

3 Methoden zurücksetzen

Es werden drei Rücksetzmethode ausgewertet. Das Zurücksetzen beinhaltet eine physische Fortbewegung mit optisch manipuliertem Fluss, so dass das Gefühl des Benutzers, wo sie sich relativ zu Objekten in seiner virtuellen Umgebung befinden, nicht verändert wird. Die drei Rücksetzmethode heißen Freeze-Backup, Freeze-Turn und 2:1-Turn und werden wie folgt erläutert.

1. Einfrieren - Backup. Bei dieser Methode zeigt der Computer an der Benutzer, dass er die Grenzen des Tracking-Systems erreicht hat und zurückgesetzt werden muss. Das Verfolgungssystem wird nicht mehr verwendet, um die Position des Subjekts in der virtuellen Umgebung zu aktualisieren, so dass die Position des Benutzers im virtuellen Raum nicht mehr mit der Bewegung im physischen Raum aktualisiert wird. Der Benutzer wird dann angewiesen, im physischen Raum Rückschritte zu machen, während die Position des Benutzers im virtuellen Raum fest oder eingefroren bleibt. Wenn genügend Schritte unternommen wurden, zeigt der Computer an, dass der Benutzer anhalten soll, die Anzeigen nicht eingefroren sind und der Benutzer auf demselben Weg fortfahren darf, den er vor dem Zurücksetzen gegangen ist. Während des Rückwärtsgehens ist die Orientierungsverfolgung aktiv, damit sich der Benutzer umschauen kann.

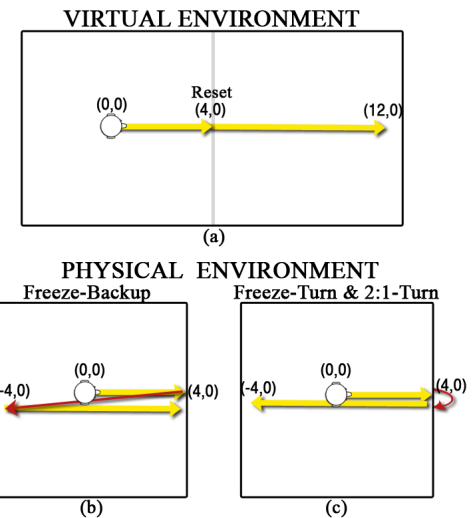


Abbildung 1: Der Weg, den ein Subjekt in der virtuellen Umgebung eingeschlagen hat, ist in (a) dargestellt, während der Weg im physischen Raum, den das Subjekt unter den verschiedenen Rücksetzmethode nimmt, in (b) und (c) gezeigt ist. In diesem Beispiel betrachtet eine Person an Position (0,0) im physischen Raum die virtuelle Umgebung an Position (0,0). In (a) geht die Person in der virtuellen Umgebung vorwärts, wo sie durch ein Signal bei (4,0) alarmiert wird, das angibt, dass sie sich in der Nähe der Verfolgungsgrenzen befindet und ihre Position im physischen Raum zurücksetzen muss. Die Person geht dann in der virtuellen Umgebung weiter zu (12,0). Die entsprechenden Pfade in der physischen Umgebung für die drei Rücksetzmethode sind in (b) und (c) gezeigt. Rote Pfeile zeigen die physische Bewegung während eines Zurücksetzens an.

Die 1 (a) und 1 (b) zeigen ein Beispiel des Prozesses. Das in 1b gezeigte Rechteck stellt die physikalischen Grenzen des Verfolgungssystems dar, während das in 1a gezeigte größere Rechteck die virtuelle Umgebung darstellt. In diesem Beispiel beginnt der Benutzer sowohl in der realen als auch in der virtuellen Umgebung an Position (0,0). Der Benutzer fährt dann mit (4,0) fort, kann jedoch nicht weiter erforschen, da die Grenzen des physischen Raums erreicht wurden. Daher wird der Benutzer zurückgesetzt und seine Position wird bei (4,0) eingefroren, wenn er dem roten Pfad folgt und wieder auf (-4,0) zurückkehrt. Während der Sicherungsphase wird der Benutzer angewiesen, einfach rückwärts zu gehen und zu sagen, wann er anhalten soll, und wird nicht rückwärts geführt. Daher geht der Benutzer normalerweise nicht wie in diesem Beispiel einen geraden Weg direkt hinter sich. Sobald der Benutzer (-4,0) erreicht, weist das System den Benutzer an, anzuhalten. und der Benutzer folgt dem gelben Pfad weiter, bis er (4,0) erreicht. Der entsprechende Pfad in der virtuellen Umgebung von (0,0) bis (12,0) wird rechts angezeigt.

Die physische Position eines Benutzers in x, y, z Der Raum unter Verwendung eines rechtshändigen Koordinatensystems wird vom Verfolgungssystem erhalten. Die Position in der Mitte des Raumes auf dem Boden ist (0, 0, 0). Das x, y , und z Richtungen, während Sie in der Mitte des Raums stehen und nach vorne zeigen, entsprechen der Bewegung von vorne nach hinten, der Benutzerhöhe bzw. der Bewegung von rechts nach links. Bewegung ist in der begrenzt x und z Richtungen aufgrund der endlichen Reichweite des Verfolgungssystems. Seit der y - Die Richtung zeigt die Bewegung senkrecht zum Bodenfenster an. Dieser Wert repräsentiert normalerweise die Augenhöhe des Benutzers und schränkt die Erkundung der virtuellen Umgebung nicht ein. Die Ausrichtung erfolgt über den am HMD befindlichen Rotationssensor, der die Rotation über die x - Achse (Steigung), y - Achse (Gieren) und z - Achse (Rolle). Die Details des Algorithmus finden Sie in Anhang A.1.

2. Einfrieren - Drehen. Bei dieser Methode wird beim Tracking-Gerät

Wenn der Proband feststellt, dass das Motiv eine Grenze erreicht hat, zeigt der Computer dem Teilnehmer an, dass er durch Drehen zurückgesetzt werden muss. Die Anzeige des HMD wird eingefroren, wodurch die Position und der Gierwinkel des Teilnehmers im virtuellen Raum eingefroren werden, und der Teilnehmer dreht sich um 180 Grad. Die Anzeige ist nicht eingefroren, die Verfolgung wird aktualisiert und das Motiv kann seine Route fortsetzen.

Abbildung 1 (a) und 1 (c) zeigen ein Beispiel für den Bereich, der im physischen Raum betreten wurde, und den entsprechenden Bereich, der im virtuellen Raum betreten wurde. In diesem Beispiel startet der Benutzer in Position (0,0) sowohl in der physischen als auch in der virtuellen Umgebung und betrachtet die virtuelle Welt über das HMD. Der Benutzer geht zu Position (4,0), wo kein physischer Raum mehr vorhanden ist, und möchte diesen Weg fortsetzen. Somit dreht sich der Benutzer mit einem in dieser y-Richtung eingefrorenen Display an Position (4,0) um, um es zurückzusetzen. Wenn der Bildschirm nicht eingefroren ist, ist der Benutzer 180 Jahre alt geworden - und geht weiter zu (-4,0) im physischen Raum. Der gelbe Pfad in Abbildung 1a zeigt die Fortbewegung, die der Benutzer in der virtuellen Umgebung wahrgenommen hat. Anhang A.1 erläutert den Algorithmus, mit dem dieser Reset durchgeführt wird.

3. 2: 1 - Drehen. Bei dieser Methode, wenn das Subjekt die erreicht

An den Grenzen des Trackers gibt der Computer an, dass er sich drehen und weiter drehen soll, bis eine visuell vollständige Drehung in der virtuellen Umgebung abgeschlossen ist. Die Rotationsverstärkung des Gierwinkels während dieser Drehung wird um zwei skaliert, so dass der Benutzer sich um 180 dreht - in der physischen Umgebung, dreht sich aber um 360 - in der virtuellen Umgebung. Einzelheiten zum Algorithmus finden Sie in Anhang A.3.

Abbildung 1 (a) zeigt ein Beispiel für einen Pfad in einer virtuellen Umgebung, in der ein Reset durchgeführt wird. Der entsprechende physikalische Pfad ist in 1 (b) zu sehen.

Beachten Sie, dass der von den Freeze-Turn- und 2: 1-Bedingungen eingeschlagene Pfad ähnlich ist, da beide den Benutzer zum Zurücksetzen umdrehen müssen.

4 Experimentelle Auswertung

Da alle drei Methoden sinnvolle Formen des Zurücksetzens sind, haben wir ein Experiment durchgeführt, um zu bewerten, welche am besten funktioniert. Darüber hinaus wollten wir die kognitiven Kosten eines Zurücksetzens bei jeder Methode ermitteln. Wir möchten beurteilen, ob Benutzer bei längerer Nutzung des Systems zunehmend desorientiert werden. A priori können wir einige Beobachtungen über die Leistung der verschiedenen Methoden machen. Erstens erfordert die Sicherungsmethode das Rückwärtsgehen in einem HMD, eine Aktion, die weniger stabil ist als das Vorwärtsgen. Die 2: 1-Umdrehungsbedingung schaltet Benutzer zwischen einer „normalen“ (1: 1) Rotationsverstärkung und einer 2: 1-Rotationsverstärkung um, was sich als desorientierend erweisen kann. Das Freeze-Turn-System trennt propriozeptive Hinweise vom optischen Fluss, was ebenfalls verwirrend sein kann.

4.1 Materialien

Zwölf naive Probanden nahmen an dieser Studie teil. Die virtuelle Welt wurde über ein NVIS nVisor SX-Vollfarb-Stereo-Display mit einer Auflösung von 1280 x 1024 pro Auge und einem Sichtfeld von 60 betrachtet - schräg. Die Größe des physischen Raums, in dem die Experimente durchgeführt wurden, betrug ungefähr 5 x 6 m, und innerhalb des Raums lagen die Grenzen des Vier-Kamera-Videopositionsverfolgungssystems bei ungefähr 5 x 5 m. Der in Abbildung 2 gezeigte virtuelle Raum war 50 x 50 m groß und damit zehnmal so groß wie die physischen Grenzen des Verfolgungssystems. Objekte wurden in verschiedenen Ausrichtungen in den Raum gestellt, um dem Subjekt ein Gefühl für die Größe und den Maßstab der Umgebung zu geben. Die Umgebung enthielt 7 verschiedene Farbtischen, die über die gesamte Umgebung verteilt waren, 14 Poster an der Wand, a



Abbildung 2: Diese Abbildung zeigt die im Experiment verwendete virtuelle Umgebung.

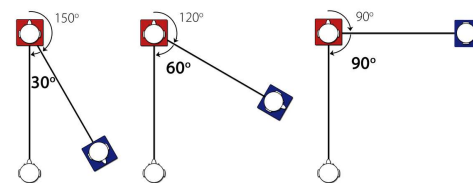


Abbildung 3: Diese Abbildung zeigt eine Draufsicht auf die drei verschiedenen Winkel (30°, 60° und 90°) des Zwei-Segment-Pfades, den jeder Teilnehmer folgt. Das Subjekt geht zu einem roten Stuhl und wird dann 150 Jahre alt -, 120 -, oder 90 -, jeweils und geht zu dem blauen Stuhl.

Kühlschrank, ein Fischtank, drei Sofabereiche, zwei Bücherregale, eine Gruppe von sechs Stühlen, ein Computertisch, ein Computer, Türen, eine Gruppe von Spielautomaten und ein Billardtisch.

4.2 Vorgehensweise

Das Ziel dieses Experiments war es zu bewerten, wie gut die Probanden nach dem Zurücksetzen das räumliche Bewusstsein für eine Umgebung aufrechterhalten. Wir haben das räumliche Wissen des Probanden in jeder der drei Rücksetzbedingungen getestet. Da es sechs Ordnungen mit drei Rücksetzbedingungen gab, füllten zwei Probanden jede der sechs verschiedenen Ordnungen auf ausgeglichene Weise aus. Während jeder Testbedingung absolvierte der Teilnehmer insgesamt achtzehn Versuche. Ein Versuch bestand darin, einen Weg zu gehen und sich dann einem erinnerten Zielobjekt zuzuwenden. Vor jedem Versuch wurden die Teilnehmer in eine Startposition gebracht und dann gebeten, sich die Position eines Objekts oder eines Satzes von drei Objekten zu merken. Versuche mit drei Objekten wurden eingeschlossen, so dass die Probanden alle drei Objekte während des Gehens zur Testposition berücksichtigen mussten. In diesem Zustand, Zu Beginn des Versuchs wurden drei Objekte benannt, und den Probanden wurde gesagt, dass sie aufgefordert werden würden, sich umzudrehen und sich einem der Bäume zu stellen, nachdem sie zur Testposition gegangen waren. Die Teilnehmer hatten etwa 60 Sekunden Zeit, sich an die Objektpositionen zu erinnern und sich frei von der Startposition zu drehen, um sie anzuzeigen, bevor sie den Pfad befahren. Objekte wurden so ausgewählt, dass sie nicht auf dem Pfad der Teilnehmer angezeigt wurden. Der richtige Reaktionswinkel von der Blickposition am Ende des Pfades zu dem Objekt, dem das Subjekt gegenüberstehen sollte, variierte von 30 Die Teilnehmer hatten etwa 60 Sekunden Zeit, sich an die Objektpositionen zu erinnern und sich frei von der Startposition zu drehen, um sie anzuzeigen, bevor sie den Pfad befahren. Objekte wurden so ausgewählt, dass sie nicht auf dem Pfad der Teilnehmer angezeigt wurden. Der richtige Reaktionswinkel von der Blickposition am Ende des Pfades zu dem Objekt, dem das Subjekt gegenüberstehen sollte, variierte von 30 Die Teilnehmer hatten etwa 60 Sekunden Zeit, sich an die Objektpositionen zu erinnern und sich frei von der Startposition zu drehen, um sie anzuzeigen, bevor sie den Pfad befahren. Objekte wurden so ausgewählt, dass sie nicht auf dem Pfad der Teilnehmer angezeigt wurden.

Der Reiseweg bestand aus einer zweigeteilten Route, auf der die Probanden zu einem roten Stuhl und dann zu einem blauen Stuhl gingen. Die roten und blauen Stühle sollen nur als Zeichen dienen und zeigen, wie sie gehen sollten, um die Testposition zu erreichen. Der Winkel zwischen dem Startpunkt,

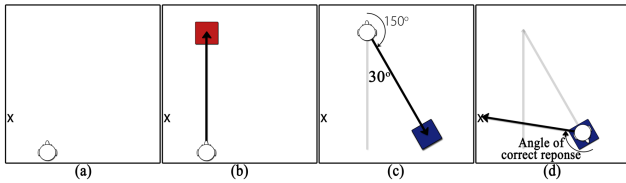


Abbildung 4: Ein Versuch besteht darin, einen Pfad mit zwei Segmenten zu gehen und sich einem erinnerten Zielobjekt zuzuwenden. In diesem Beispiel wird der Proband gebeten, sich die Position eines mit 'x' bezeichneten Objekts zu merken, wie in (a) gezeigt. Sobald das Subjekt dem Experimentator anzeigt, dass es die Position auswendig gelernt hat, erscheint der rote Stuhl und das Subjekt wird angewiesen, wie unter (b) angegeben zu ihm zu gehen. Sobald das Subjekt den roten Stuhl erreicht hat, verschwindet es und der blaue Stuhl erscheint (c). In diesem Beispiel weist der Experimentator den Teilnehmer an, den blauen Stuhl rechts von ihm zu finden, und fordert ihn auf, 150 Jahre alt zu werden. Sobald das Subjekt den blauen Stuhl (d) erreicht, wird es gebeten, sich mit geschlossenen Augen dem Objekt 'x' zuzuwenden. Der richtige Reaktionswinkel ist in (d) gezeigt.

VIRTUAL ENVIRONMENT PATH

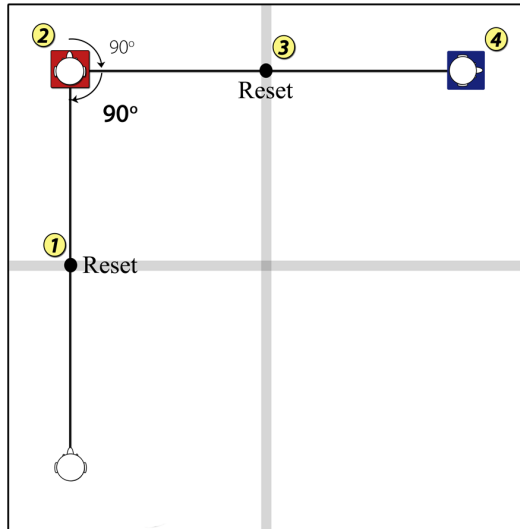


Abbildung 5: Diese Abbildung zeigt einen Pfad mit zwei Segmenten, den ein Teilnehmer in der virtuellen Umgebung während eines Versuchs mit zwei Zurücksetzungen zurückgelegt hat. In diesem speziellen Beispiel beträgt der Winkel des Pfades 90°. Der Proband startet den Versuch in der unteren linken Ecke. Sie gehen zum roten Stuhl und werden auf Position 1 auf ihrem Weg zum roten Stuhl einmal zurückgesetzt. Sobald das Subjekt den roten Stuhl an Position 2 erreicht, wird das Subjekt 90 Jahre alt - rechts, um den blauen Stuhl zu finden und darauf zuzugehen. Auf dem Weg zum blauen Stuhl wird das Motiv an Position 3 zurückgesetzt und erreicht dann weiterhin den blauen Stuhl an Position 4. Durch das Zurücksetzen werden Position und Ausrichtung des Benutzers in der virtuellen Umgebung nicht geändert.

PHYSICAL ENVIRONMENT PATH

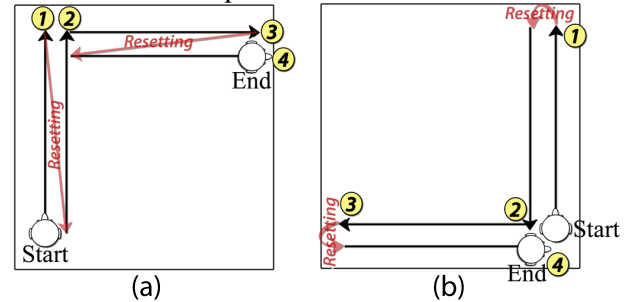


Abbildung 6: Diese Abbildung zeigt den physischen Pfad, den die Probanden auf dem virtuellen Pfad von Abbildung 5 genommen haben. In der in (a) gezeigten Freeze-Backup-Bedingung gehen die Teilnehmer auf den roten Stuhl zu und werden an Position 1 zurückgesetzt. Beim Zurücksetzen machen sie Schritte zurück, wie durch den roten Pfeil angezeigt. Während des Zurücksetzens wird ihre Position im virtuellen Raum eingefroren. Nachdem sie genügend Schritte zurück gemacht haben, friert der Bildschirm auf und sie setzen ihren Weg zum roten Stuhl an Position 2 fort. Als nächstes geht der Teilnehmer zum blauen Stuhl, wird auf 3 zurückgesetzt und fährt dann fort, bis er Position 4 erreicht. Der Pfad, der während dieses Versuchs im 2:1-Turn-Zustand und im Freeze-Turn-Zustand verfolgt wurde, ist der gleiche wie in (b) gezeigt. Das Subjekt wird an Position 1 zurückgesetzt und dreht sich um 180° um zu dem roten Stuhl fortzufahren, der bei 2 positioniert ist. Das Motiv wird 90° nach rechts und weiter in Richtung des blauen Stuhls und wird auf Position 3 zurückgesetzt.

roter Stuhl und blauer Stuhl war entweder 30°, 60°, oder 90°. Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für einen Versuch. Nachdem sich das Subjekt die Position des Objekts oder der Objekte merkt (Abbildung 4 (a)), erscheint ein roter Stuhl und der Teilnehmer wird angewiesen, zum roten Stuhl (4 (b)) zu gehen. Sobald das Subjekt am roten Stuhl angekommen war, verschwand der rote Stuhl und ein blauer Stuhl erschien (4 (c)). Der Experimentator wies das Subjekt an, in welche Richtung es sich drehen sollte (rechts oder links), um den blauen Stuhl zu finden. Das Subjekt durfte sich nicht auf dem Zielobjekt oder den Zielobjekten umsehen, während es den Pfad mit zwei Segmenten ging. Am Ende des Weges wies der Experimentator das Subjekt an, die Augen zu schließen und sich einem erinnerten Zielobjekt zuzuwenden (4 (d)). Die Zeit wurde mit einer Stoppuhr aufgezeichnet und die Drehposition wurde vom Computer aufgezeichnet. Die durchschnittliche Entfernung vom Endobjekt am blauen Stuhl zum Zielobjekt betrug ungefähr 20 m und lag zwischen 3 m und 40 m. Die Startposition wurde zufällig innerhalb von 10 m von der Mitte des Raumes variiert und die Ausrichtung wurde zufällig um 90° variiert.

Während der Fortbewegung entlang des Pfades wurde das Motiv je nach Länge des Pfades null-, zweimal- oder viermal zurückgesetzt. Im Null-Reset-Zustand absolvierte das Subjekt zwei 4-Meter-Segmente. Beachten Sie, dass die Null-Rücksetzbedingung bei allen drei Rückstellmethoden gleich ist. Es wurde in den Versuchsplan aufgenommen, um eine Basislinie für alle Versuche bereitzustellen. Unter den Bedingungen mit zwei und vier Rücksetzungen legte das Subjekt zwei 8-m-Pfade bzw. zwei 12-m-Pfade zurück. Die Position des Resets auf dem Pfad wurde so konstruiert, dass sie einen gleichen Abstand voneinander hatten. Zum Beispiel traten Resets im 8-m-Pfad der beiden Reset-Zustände bei 4 m auf. Ebenso traten in der 12-m-Segmentlänge der vier Rücksetzbedingungen Rücksetzungen bei 4 m und 8 m auf. Die Abbildungen 5 und 6 zeigen ein Beispiel für einen Versuch, bei dem das Subjekt zweimal zurückgesetzt wird. Abbildung 5 zeigt den in der virtuellen Umgebung zurückgelegten Pfad und Abbildung 6 zeigt die unter den drei verschiedenen Rücksetzbedingungen zurückgelegten Pfade. Da zwei unterschiedliche Anzahlen von Objekten zu merken waren, drei Pfadwinkel und drei unterschiedliche Anzahlen von Zurücksetzungen, gab es achtzehn Versuche pro Bedingung, die jede mögliche Kombination repräsentierten. Jede Bedingung nahm an

ca. 45 Minuten zu erledigen und wurden somit an aufeinanderfolgenden Tagen abgeschlossen.

Wir haben den Wegwinkel um 30° variiert: 60°, und 90°, so dass die Probanden keine Strategien verwendeten, die auf dem Pfadwinkel basierten. Der Teilnehmer musste sich die Position eines oder dreier Objekte merken. Wir haben drei Objekte sowie ein Objekt verwendet, um zu sehen, wie schwierig die Aufgabe wird, wenn die kognitive Belastung höher ist. Beim Speichern eines Objekts könnten die Teilnehmer Strategien anwenden, bei drei Objekten sind die Probanden jedoch im Allgemeinen gezwungen, sich auf ihrem Weg räumlich zu aktualisieren.

5 Ergebnisse

Wir haben die Ergebnisse unseres Experiments im Hinblick auf die Fehler und Latenzen beim Wenden auf die Ziele analysiert. Der Drehfehler ist definiert als die Winkeldifferenz beim Drehen, um einem bestimmten Ziel gegenüber der tatsächlichen Position im virtuellen Raum gegenüberzustehen. Der Winkel der korrekten Reaktion auf das Zielobjekt vom Ende des Pfades variierte als wiederholte Versuche innerhalb des Subjekts von 30° bis 180°. Die Latenz wurde von dem Zeitpunkt an gemessen, an dem das Subjekt dem Objekt zugewandt wurde, bis das Subjekt an einer endgültigen Position zur Ruhe kam. Die unabhängigen Variablen in diesem Experiment waren die Rücksetzbedingung (Freeze-Backup, Freeze-Turn und 2: 1-Turn), die Anzahl der Resets (2 oder 4), die Anzahl der Zielobjekte (1 oder 3) und der Drehwinkel (30°, 60° oder 90°). Alle unabhängigen Variablen waren innerhalb der Subjekte. Wie oben erwähnt, war die Null-Rücksetzbedingung über alle Rücksetzbedingungen hinweg identisch, um eine Basislinie unter einer idealen Bedingung bereitzustellen. Daher wurde es nicht in die statistische Analyse einbezogen.

Diagramme der mittleren Wendefehler und mittleren Latenzen, die über verschiedene Faktoren hinweg kollabiert sind, sind in den 7 bis 12 gezeigt. Die 7 und 8 zeigen den mittleren Wendefehler und die mittlere Latenz als Funktion der Rücksetzbedingung, wobei die Nullrücksetzbedingung als Basislinie enthalten ist. In den Abbildungen 9 und 10 werden diese Informationen nach Anzahl der Rücksetzungen aufgeschlüsselt, und in den Abbildungen 11 und 12 werden diese Informationen nach Anzahl der Objekte weiter aufgeschlüsselt.

Eine multivariate Varianzanalyse mit wiederholten Messungen des Drehfehlers ergab einen Haupteffekt des Rücksetzzustands $F(2,22) = 5,4$, $p < .05$. Die Teilnehmer haben mit Freeze-Backup weniger Fehler gemacht als mit anderen Rücksetzbedingungen. Es gab keine anderen Haupteffekte oder Wechselwirkungen. Eine Analyse der Latenz mit wiederholten Messungen zeigt einen Haupteffekt der Anzahl der zu merkenden Objekte. $F(1,11) = 29,9$, $p < .01$. Die Teilnehmer waren schneller, wenn sie sich weniger Objekte merken mussten. Es gab eine signifikante Wechselwirkung des Rücksetzzustands \times Anzahl der Objekte, $F(2,22) = 9,8$, $p < .05$. Die Probanden waren am schnellsten, wenn sie sich an weniger Objekte erinnern mussten, waren jedoch im 2: 1-Umdrehungszustand im Allgemeinen schneller (siehe Abbildung 12).

Am Ende aller drei Studien wurden die Probanden schließlich gebeten, die Methode auszuwählen, die sie am besten bevorzugten. Sieben Probanden bevorzugten die Freeze-Backup-Methode, vier bevorzugten die 2: 1-Turn-Methode und ein Proband bevorzugte die Freeze-Turn-Methode.

6 Diskussion

In diesem Artikel werden Methoden zur Untersuchung großer virtueller HMD-basierter Umgebungen untersucht, wenn der physische Raum, in dem sich das HMD befindet, begrenzt ist. Wir haben drei Methoden zum Zurücksetzen des Standorts eines Benutzers im physischen Raum untersucht, in der Hoffnung, dass er seine räumliche Ausrichtung im virtuellen Raum beibehalten kann. Bei der Freeze-Backup-Methode erhält der Benutzer mehr Platz für die virtuelle Erkundung, indem er Schritte rückwärts unternimmt, während er an einer festen Position in der virtuellen Umgebung eingefroren ist. Bei den beiden anderen Methoden, Freeze-Turn und 2: 1-Turn, überwinden Benutzer physische Hindernisse, indem sie sich physisch um 180° drehen und pflegen

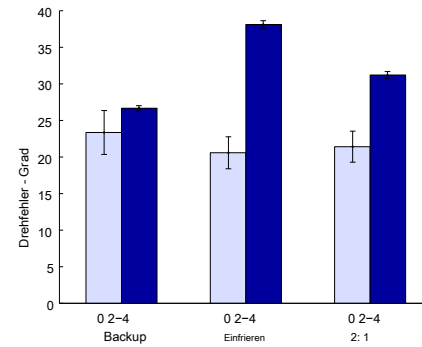


Abbildung 7: Mittlerer Drehfehler in Abhängigkeit von Zustand und Anzahl der Rückstellungen. Unter jeder Rücksetzbedingung wird der Mittelwert der Null-Rücksetzungen mit dem Mittelwert der zwei und vier Rücksetzungen zusammen verglichen.

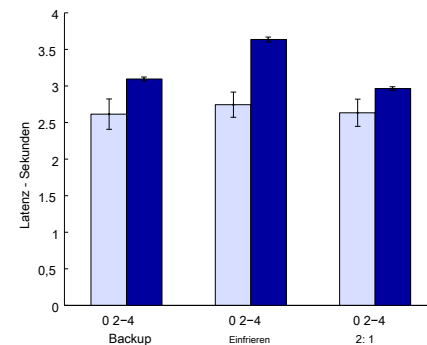


Abbildung 8: Latenz in Abhängigkeit von Zustand und Anzahl der Zurücksetzungen. Unter jeder Rücksetzbedingung wird der Mittelwert der Null-Rücksetzungen mit dem Mittelwert der zwei und vier Rücksetzungen zusammen verglichen.

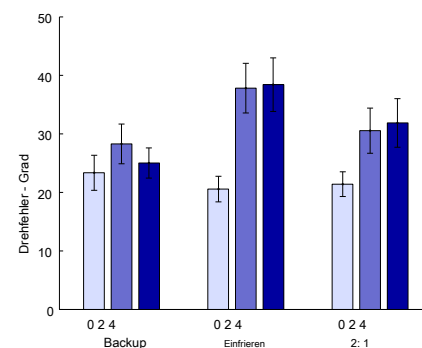


Abbildung 9: Mittlerer Drehfehler in Abhängigkeit von Zustand und Anzahl der Rückstellungen. Unter jeder Rücksetzbedingung wird der Mittelwert nach Anzahl der Rücksetzungen kategorisiert: null, zwei oder vier.

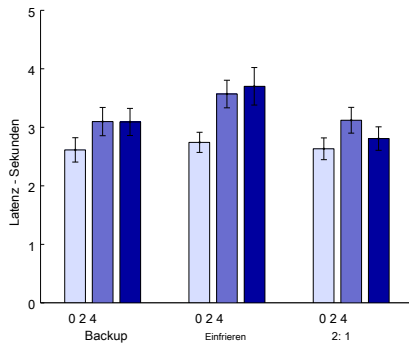


Abbildung 10: Latenz in Abhängigkeit von Zustand und Anzahl der Zurücksetzungen. Unter jeder Rücksetzbedingung wird der Mittelwert nach Anzahl der Zurücksetzungen kategorisiert: null, zwei oder vier.

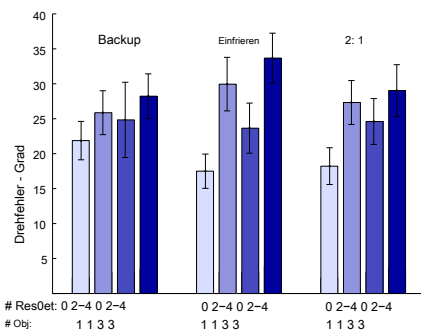


Abbildung 11: Mittlerer Drehfehler in Abhängigkeit von Zustand, Anzahl der Zurücksetzungen und Anzahl der gespeicherten Objekte. Unter jeder Rücksetzbedingung wird der Mittelwert in sechs verschiedene Kategorien eingeteilt, die jede der möglichen Kombinationen aus Anzahl der Zurücksetzungen und Anzahl der Objekte darstellen.

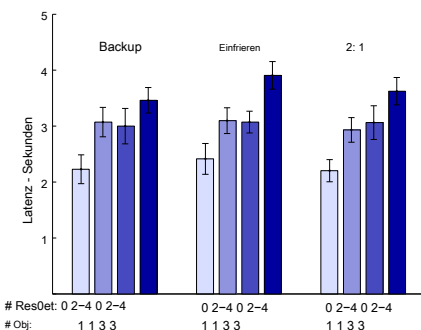


Abbildung 12: Latenz in Abhängigkeit von Zustand, Anzahl der Zurücksetzungen und Anzahl der gespeicherten Objekte. Unter jeder Rücksetzbedingung wird der Mittelwert in sechs verschiedene Kategorien eingeteilt, die jede der möglichen Kombinationen aus Anzahl der Zurücksetzungen und Anzahl der Objekte darstellen.

ihre gleiche Position im virtuellen Raum vor und nach der Wende. Während eines Freeze-Turn-Resets wird die Ausrichtung des Benutzers eingefroren, während sich das Motiv um 180° dreht. In der 2:1-Umdrehungsbedingung wird die Verstärkung der Umdrehung verdoppelt, so dass 180° · Die Drehung im physischen Raum entspricht 360° im virtuellen Raum drehen.

Unsere Ergebnisse zeigten, dass die niedrigsten Fehler in der Freeze-Backup-Bedingung auftreten, während die Latenzen für die 2:1-Bedingung am niedrigsten waren. Es gibt einige interessante Beobachtungen zu diesen Ergebnissen. Das Aktualisieren der eigenen Position in der Freeze-Backup-Bedingung beinhaltet das Ignorieren propriozeptiver Hinweise, die dazu führen würden, dass sich die Perspektive als geometrische Übersetzung ändert. Die geringeren Drehfehler stimmen im Allgemeinen mit der früheren Literatur überein, die darauf hinweist, dass es einfacher ist, Perspektivänderungen zu beurteilen, wenn die Geometrie der Änderung eher eine Translation als eine Rotation ist [Rieser 1989; Presson und Montello 1994; Philbeck et al. 2001]. Dieses Ergebnis hat sich im Allgemeinen sowohl auf Fehler als auch auf Latenzen ausgeweitet, sodass die Feststellung, dass der 2:1-Turn-Zustand im schlimmsten Fall so gut ist wie der Freeze-Backup-Zustand, überraschend ist. Die Fehler und Latenzen waren für die Freeze-Turn-Bedingung am schlimmsten. Die beiden anderen Bedingungen waren beide besser als die Freeze-Turn-Bedingung.

Das Design unserer Experimente konzentrierte sich auf Versuchslatenzen, und wir verfolgten nicht die Gesamtzeit, um die Testphase des Experiments unter jeder der Rücksetzbedingungen abzuschließen, mit Ausnahme von zwei Probanden. Die mittlere Testzeit der beiden Probanden für Freeze-Backup, Freeze-Turn und 2:1-Turn betrug 32,2 Minuten, 23,2 Minuten bzw. 22,1 Minuten. Diese Ergebnisse stimmen mit unseren Erinnerungen an die Testzeiten für die anderen Probanden überein.

In mündlichen Berichten gaben sieben von zwölf Probanden an, dass sie die Freeze-Backup-Bedingung bevorzugten, während vier von zwölf angaben, dass sie die 2:1-Turn-Methode bevorzugten. Obwohl die Freeze-Backup-Bedingung die geringsten Drehfehler aufweist und von der Mehrheit der Benutzer bevorzugt wird, würde ein zufriedenstellendes Design für ein HMD-System auf Warenebene wahrscheinlich entweder aus der Freeze-Turn- oder der 2:1-Turn-Methode bestehen. Die Nachteile der Freeze-Backup-Methode sind die potenzielle Gefahr des Rückstoßes in eine Wand oder das Stolpern über die Leine sowie die längere Zeit und das Gehen beim Zurücksetzen. Da die Freeze-Backup-Bedingung jedoch die beste Rücksetzbedingung ist, stellen wir uns ihre Verwendung in Trainingsanwendungen vor, bei denen die räumliche Ausrichtung wichtig ist und bei denen Zeit keine Rolle spielt. Die Auszubildenden können einen Führer haben, der sicherstellt, dass sie nicht gegen eine Wand stoßen oder in einer Ecke stecken bleiben. Zum Beispiel könnte dieses Verfahren verwendet werden, um Notausgänge für vorgeschlagene Architekturentwürfe im Brandfall und andere Notfallanwendungen zu testen. Wir bevorzugen im Allgemeinen die 2:1-Turn-Methode, da das Zurücksetzen relativ schnell ist und die Verstärkung weiter ausgenutzt werden kann, so dass der Betrag, den ein Benutzer während eines Zurücksetzens dreht, leicht manipuliert werden kann, um maximalen physischen Raum für die Vorwärtserkundung bereitzustellen.

Benutzer mussten sich in diesem Experiment die Positionen von einem oder drei Objekten merken, und das Erinnern an die höhere Anzahl von Objekten führte zu längeren Testlatenzen. Es gab auch eine signifikante Wechselwirkung zwischen der Rücksetzbedingung und der Anzahl der Objekte. Der 2:1-Turn-Zustand war im Allgemeinen der schnellste. Dieser Befund weist darauf hin, dass die Rotation, die die 2:1-Turn-Bedingung einführt, im Vergleich zu den rein translatorischen Aktionen der Freeze-Backup-Bedingung nur geringe kognitive Kosten verursacht. Dieses Ergebnis ist interessant im Vergleich zu vielen früheren Arbeiten, z. B. [Rieser 1989], die zeigen, dass die Beibehaltung der räumlichen Orientierung unter allgemeinen Rotationen rechenintensiver ist als unter Übersetzungen.

Die Ergebnisse dieser Experimente zeigen auch, dass das Zurücksetzen in Bezug auf die Ausrichtung eines Benutzers auf gespeicherte Objekte mit Kosten verbunden ist. Um diese Kosten zu verringern, würde ein komplettes System wahrscheinlich eine Methode oder Vorkehrung beinhalten, damit sich die Benutzer regelmäßig in der virtuellen Umgebung neu orientieren können. Angesichts des aktuellen Zustands der virtuellen Umgebung

Die Notwendigkeit einer Neuorientierung ist kein schwerwiegender Nachteil, obwohl wir diesen gerne beseitigen möchten. Es gibt zahlreiche Hinweise darauf, dass Menschen Schwierigkeiten haben, sich in virtuellen Umgebungen zu orientieren [Ruddle 2001; Allen und Singer 1997; Péruich et al. 2000]. Typischerweise werden diese Schwierigkeiten auf schlechte idiothetische Hinweise zurückgeführt, wie das Fehlen von Propriozeption und anderen Informationsquellen, die durch Selbstbewegung (im Fall von virtuellen Desktop-Umgebungen) bereitgestellt werden, und das eingeschränkte Sichtfeld von HMDs. Dieses Thema verfolgen wir aktiv.

Zukünftige Arbeiten umfassen auch die Integration dieser Rücksetzmethode in ein System, das die Skalierung des Translationsgewinns als Methode zur Erkundung virtueller Umgebungen beinhaltet [Williams et al. 2006]. Wir möchten immersive virtuelle Umgebungen zum Lernen und Trainieren in großem Umfang einsetzen, und es ist wahrscheinlich, dass der physische Raum eine Einschränkung darstellt, die überwunden werden muss, damit sie weit verbreitet sind.

Danksagung. Die Autoren danken Bernhard Riecke und Jon Kelly für hilfreiche Diskussionen und den anonymen Gutachtern für aufschlussreiche Kommentare. Dieses Material basiert auf Arbeiten, die von der National Science Foundation unter Grant IIS-0237621, von einem Vanderbilt Discovery Grant und vom National Institute of Mental Health unter Grant 2-R01-MH57868 unterstützt werden. Alle in diesem Material geäußerten Meinungen, Ergebnisse und Schlussfolgerungen oder Empfehlungen sind die der Autoren und spiegeln nicht unbedingt die Ansichten der Sponsoren wider.

Verweise

- EIN LLEN, RC, UND S. INGER, MJ 1997. Landmarkenrichtung und Entfernungsschätzung in großem Maßstab. Im *Verfahren der Human Factors and Ergonomics Society 41. Jahrestagung*, 1213–1217.
- B. OWMAN, PAPA AVIS, ET, H. ODGES, LF, UND B. ADRE, AN 1999. Beibehaltung der räumlichen Orientierung während der Reise in einer immersiven virtuellen Umgebung. *Präsenz 8*, 6, 618–631.
- C. HANCE, SS, G. TANTE, F., B. EALL, AC, UND L. OOMIS, JM 1998. Der Fortbewegungsmodus beeinflusst die Aktualisierung von Objekten, die während der Reise angetroffen werden: Der Beitrag von vestibulären und propriozeptiven Eingaben zur Pfadintegration. *Präsenz 7*, 2, 168–178.
- D. ARKEN, R., UND S. IBERT, J. 1996. Navigieren in großen virtuellen Welten. *Die Int. J. of Human-Computer Interaction 8*, 1, 49–72.
- K. VERDIENST, M., W. ARREN, W., D. UCHON, EIN., UND T. ARR, M. 2002. Pfadintegration aus optischem Fluss und Körpersinn in einer Homing-Aufgabe. *Wahrnehmung 31*, 349–374.
- K. LATZKY, RL, L. OOMIS, JM, B. EALL, AC, C. HANCE, SS, UND G. OLLEDGE, RG 1998. Räumliche Aktualisierung der Selbstposition und Orientierung während der realen, imaginären und virtuellen Fortbewegung. *Psychologische Wissenschaft 9*, 4 (Juli), 293–298.
- K. UHL, SA 2004. Neukalibrierung der Rotationsbewegung in immersiven virtuellen Umgebungen. Im *APGV 2004*, 23–26.
- L. ATHROP, WB, UND K. AISER, MK 2002. Wahrgenommene Orientierung in physischen und virtuellen Umgebungen: Änderungen der wahrgenommenen Orientierung als Funktion der verfügbaren idiothetischen Informationen. *Präsenz 11*, 1, 19–32.
- N. ITZSCHE, N., H. ANEBECK, U., UND S. CHMIDT, G. 2004. Mo-Komprimierung für telepräsentes Gehen in großen Zielumgebungen. *Präsenz 13*, 1, 44–60.
- P. ÉRUICH, P., B. ELINGARD, L., UND T. HINUS- B. LANC, C. 2000. Transfer von räumlichem Wissen von virtuellen in reale Umgebungen. Im *Räumliche Erkenntnis II*, C. Freska, Ed. Springer, Berlin.
- P. HILBECK, JW, K. LATZKY, RK, B. EHRMANN, M., L. OOMIS, JM, UND G. OODRIDGE, J. 2001. Die aktive Steuerung der Lokalisierung erleichtert die translokatorische Navigation. *Journal of Experimental Psychology: Menschliche Wahrnehmung und Leistung 27*, 141–153.
- P. ICK, HL, R. IESER, JJ, W. AGNER, D., UND G. EIN RING, AE 1999. Die Neukalibrierung der Rotationsbewegung. *J. Exp. Psych: Hum. Perc. Perf.* 25, 5, 1179–1188.
- P. RESSON, CC, UND M. ONTELLO, DR 1994. Aktualisierung nach rotatorischen und translatorischen Körperbewegungen: Koordinatenstruktur des perspektivischen Raums. *Wahrnehmung 23*, 1447–1455.
- R. AZZAQUE, S., K. OHN, Z., UND W. HITTON, MC 2001. Umgeleitetes Gehen. *Eurographics Kurzpräsentation*.
- R. IESER, JJ, P. ICK, HL, A. SHMEAD, DA, UND G. EIN RING, AE 1995. Die Kalibrierung der menschlichen Fortbewegung und Modelle der wahrnehmungsmotorischen Organisation. *J. Exp. Psych: Hum. Perc. Perf.* 21, 480–497.
- R. IESER, JJ 1989. Zugang zu Kenntnissen der räumlichen Struktur an neuartigen Beobachtungspunkten. *Journal of Experimental Psychology 15*, 6, 1157–1165.
- R. UDDLE, RA, UND L. ESSELS, S. 2006. Für eine effiziente Navigationssuche benötigen Menschen volle körperliche Bewegung, aber keine reichhaltige visuelle Szene. *Psych. Wissenschaft*. Erscheinen.
- R. UDDLE, RA, P. AYNE, SJ, UND J. EINSEN, DM 1999. Navigation in großen virtuellen Umgebungen: Welche Unterschiede treten zwischen am Helm montierten und Desktop-Displays auf? *Präsenz 8*, 2, 157–168.
- R. UDDLE, RA 2001. Navigation: Bin ich wirklich verloren oder praktisch da? *Ingenieurpsychologie und kognitive Ergonomie 6*, 135–142.
- S. SPÄTER, M., U. SOH, M., UND S. TEED, A. 1995. Schritte unternehmen: Der Einfluss einer Gehteknik auf die Präsenz in der virtuellen Realität. *ACM Trans. zur menschlichen Interaktion 2*, 3, 201–219.
- T. EMPELMAN, JN, D. ENBROOK, PS, UND S. IBERT, LE 1999. Virtuelle Fortbewegung: Gehen Sie an Ort und Stelle durch virtuelle Umgebungen. *Präsenz 8*, 6, 598–617.
- U. SOH, M., A. RTHUR, K., W. HITTON, MC, B. ASTOS, R., S. TEED, WIE SPÄTER, M., UND B. DÄCHER, FP 1999. Gehen> Gehen an Ort und Stelle> Fliegen in virtuellen Umgebungen. Im *SIGGRAPH 99*, 359–364.
- W. ALLER, D., H. UNT, E., UND K. NAPP, D. 1998. Der Transfer von räumlichem Wissen im Training in virtuellen Umgebungen. *Präsenz 7*, 2, 129–143.
- W. ILLIAMS, B., N. ARASIMHAM, G., M. C. N. AMARA, TP, C. ARR, TH, R. IESER, JJ, UND B. ODENHEIMER, B. 2006. Aktualisierung der Ausrichtung in großen virtuellen Umgebungen mithilfe eines skalierten Übersetzungsgewinns. *APGV*.

Ein Algorithmus Details

Die Besonderheiten jedes Rücksetzalgorithms werden in diesem Anhang erläutert. Die physische Position eines Benutzers in x , y , z Raum unter Verwendung eines rechtshändigen Koordinatensystems wird ein Kameraverfolgungssystem erhalten. Die Position in der Mitte des Raums auf dem Boden ist $(0, 0, 0)$. Das x , y , und z Richtungen, während Sie in der Mitte des Raums stehen und nach vorne zeigen, entsprechen der Bewegung von vorne nach hinten, der Benutzerhöhe bzw. der Bewegung von rechts nach links. Bewegung ist in der begrenzt x und z Richtungen aufgrund der endlichen Reichweite des Verfolgungssystems. Seit der y -Richtung zeigt Bewegung senkrecht zu

Dieser Wert repräsentiert normalerweise die Augenhöhe des Benutzers und schränkt die Erkundung der virtuellen Umgebung nicht ein. Die Ausrichtung erfolgt über den am HMD befindlichen Rotationssensor, der die Rotation um den aktualisierten x-Achse (Steigung), y-Achse (Gieren) und z-Achse (Rolle).

A.1 Freeze-Backup

Der Algorithmus initialisiert zuerst den Rücksetzversatz *resetOffset* so dass

$$resetOffset_x = 0 \quad (1)$$

$$resetOffset_z = 0 \quad (2)$$

Nach einem Zurücksetzen muss die Position des Benutzers im virtuellen Raum berechnet werden, indem die physische Position des Benutzers um einen bestimmten Betrag versetzt wird. Daher ist die virtuelle Position (*vePos*) und Orientierung (*veOri*) Zu jedem Zeitpunkt, zu dem der Benutzer keinen Reset durchführt, kann berechnet werden als

$$vePos_x = currPos_x + resetOffset_x \quad (3)$$

$$vePos_y = currPos_y \quad (4)$$

$$vePos_z = currPos_z + resetOffset_z \quad (5)$$

$$veOri(x, y, z) = currOri \quad (6)$$

wo Vektoren *currPos* und *currOri* Geben Sie die aktuelle Position und Ausrichtung des Benutzers an. Vor dem ersten Zurücksetzen positionieren sich die Benutzer in

x, *y*, *z* Raum und Ausrichtung (Nick, Gieren und Rollen) entsprechen der des physischen Raums. Sobald der Benutzer eine Grenze erreicht hat, wird automatisch eine Meldung angezeigt, in der er aufgefordert wird, das Gehen zu beenden. Sobald der Benutzer aufhört, sich zu bewegen, wird seine Position in der virtuellen Position festgelegt und sein aktueller Standort in der virtuellen Umgebung muss aufgezeichnet und der Rücksetzversatz entsprechend aktualisiert werden.

$$resetOffset_x = currPos_x + resetOffset_x \quad (7)$$

$$resetOffset_z = currPos_z + resetOffset_z \quad (8)$$

Während des Zurücksetzens macht der Benutzer Schritte rückwärts, die virtuelle Position wird jedoch nicht aktualisiert. Die virtuelle Ausrichtung wird jedoch aktualisiert, sodass sich der Benutzer beim Sichern von einer festen Position aus umsehen kann. Daher muss während eines Zurücksetzens des Benutzers die Position des Benutzers in der virtuellen Welt berechnet werden:

$$vePos_x = resetOffset_x \quad (9)$$

$$vePos_y = currPos_y \quad (10)$$

$$vePos_z = resetOffset_z \quad (11)$$

$$veOri(x, y, z) = currOri \quad (12)$$

Der Benutzer beendet die Sicherung, wenn der Experimentator angibt, dass er genügend Sicherungen durchgeführt hat. Um den Reset abzuschließen und den Weg fortzusetzen, den er oder sie vor dem Reset zurückgelegt hat, wird die folgende Berechnung durchgeführt:

$$resetOffset_x = resetOffset_x - currPos_x \quad (13)$$

$$resetOffset_z = resetOffset_z - currPos_z \quad (14)$$

A.2 Freeze-Turn

In diesem Rücksetzzustand dreht sich der Benutzer mit eingefrorenem virtuellen Bildschirm um, bis er das Gefühl hat, ungefähr 180 gedreht zu haben, und dann ist der Bildschirm nicht mehr eingefroren und der Benutzer setzt seinen Weg fort. Daher muss die Kopfbewegung um die y-Achse manipuliert werden

verspätet. Diese Manipulation wird gesteuert von θ_y und wird mit initialisiert der Reset-Offset in der *x* (*resetOffset_x*) und *z* (*resetOffset_z*) Richtungen. Die zwei Variablen *rotAxis_x* und *rotAxis_z* Geben Sie den Ursprung des an

Transformation. Somit werden die Variablen in diesen Rücksetzbedingungen durch die Gleichungen 1, 2 und die folgenden initialisiert:

$$\theta_y = 0 \quad (15)$$

$$rotAxis_x = 0 \quad (16)$$

$$rotAxis_z = 0 \quad (17)$$

Um die Position der Benutzer in der virtuellen Umgebung zu berechnen, während sie nicht zurückgesetzt werden, muss der aktuelle physische Standort des Benutzers in *x*- und *z*-Richtung um übersetzt werden *resetOffset* und *resetOffset_z* und drehte sich um *y*-Achse. θ_y ist definiert als

$$R = \begin{bmatrix} \cos(\theta_y) & \sin(\theta_y) \\ -\sin(\theta_y) & \cos(\theta_y) \end{bmatrix} \quad (18)$$

Die aktuelle Position und Orientierung wird wie folgt berechnet:

$$\begin{bmatrix} vePos_x \\ vePos_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} currPos_x \\ currPos_z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} rotAxis_x \\ rotAxis_z \end{bmatrix} R + \begin{bmatrix} resetOffset_x \\ resetOffset_z \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$vePos_y = currPos_y \quad (20)$$

$$veOri_x = currOri_x \quad (21)$$

$$veOri_y = currOri_y + \theta_y \quad (22)$$

$$veOri_z = currOri_z \quad (23)$$

Wenn der Tracker den Benutzer außerhalb der Grenzen erkennt, benachrichtigt der Computer den Benutzer per Meldung auf dem HMD-Display und weist ihn an, die Lokomotive zu beenden. Zum Zurücksetzen dreht sich der Benutzer um, während er in seiner aktuellen Position eingefroren ist. Um den Reset zu starten, werden daher folgende Berechnungen durchgeführt:

$$[startAngle]_y = c[currOri_y] \quad (24)$$

$$\begin{bmatrix} resetOffset_x \\ resetOffset_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} currPos_x \\ currPos_z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} rotAxis_x \\ rotAxis_z \end{bmatrix} R + \begin{bmatrix} resetOffset_x \\ resetOffset_z \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$rotAxis_x = currPos_x \quad (26)$$

$$rotAxis_z = currPos_z \quad (27)$$

Die Variable *startAngle* speichert die Ausrichtung des Benutzers in *y*-Richtung beim Zurücksetzen. Während eines Zurücksetzens wird somit die virtuelle Position unter Verwendung der Gleichungen 9, 10 und 11 berechnet, und die Orientierung wird berechnet als:

$$veOri_x = currOri_x \quad (28)$$

$$veOri_y = startAngle_y + \theta_y \quad (29)$$

$$veOri_z = currOri_z \quad (30)$$

Die Position wird in *x*- und *z*-Richtung eingefroren und die Ausrichtung um die *y*-Achse eingefroren. Um den Reset zu beenden θ_y muss aktualisiert werden:

$$\theta_y = \theta_y - ((currOri_y - startAngle_y) * 2) \quad (31)$$

A.3 2: 1-Umdrehung

Der Algorithmus für diese Rücksetzbedingung ist genau der gleiche wie die Freeze-Turn-Bedingung, mit Ausnahme von Gleichung 29, die die virtuelle Ausrichtung um die berechnet *y*-Achse während der Rücksetzphase:

$$veOri_y = (currOri_y - startAngle_y) * 2 + \theta_y \quad (32)$$