

Bewertung des Gehens auf einem Wii-Balance-Board zur Erkundung einer virtuellen Umgebung

BETSY WILLIAMS, Rhodes College

STEPHEN BAILEY, GAYATHRI NARASIMHAM, MUQUN LI und BOBBY BODENHEIMER,
Vanderbilt University

In dieser Arbeit stellen wir eine Methode für „Walking In Place“ (WIP) auf dem Nintendo Wii Fit Balance Board vor, um eine virtuelle Umgebung zu erkunden. Wir vergleichen unsere Methode direkt mit der Joystick-Fortbewegung und dem normalen Gehen. Der Joystick ist dem physischen Gehen und dem WIP auf dem Wii Balance Board (WIP - Wii) unterlegen. Interessanterweise stellen wir fest, dass die physische Erkundung einer Umgebung zu Fuß in Bezug auf die räumliche Ausrichtung der Erkundung einer Umgebung mit unserer WIP-Wii-Methode entspricht. Dies bedeutet, dass die WIP-Wii eine gute und kostengünstige Alternative zur Erkundung einer virtuellen Umgebung darstellt und sich möglicherweise gut zur Erkundung großer virtueller Umgebungen eignet.

Kategorien und Fachbeschreibungen: I.3.7 [**Computergrafik**]: Dreidimensionale Grafik und Realismus - *Virtuelle Realität; Dokumentation*

Allgemeine Begriffe: Experimentieren, Human Factors

Zusätzliche Schlüsselwörter und -phrasen: Virtual Reality (VR), Raumwahrnehmung, Grafik, Mensch-Computer-Interaktion

ACM-Referenzformat:

Williams, B., Bailey, S., Narasimham, G., Li, M. und Bodenheimer, B. 2011. Bewertung des Gehens auf einem Wii-Balance-Board zur Erkundung einer virtuellen Umgebung. ACM Trans. Appl. Wahrnehmen. 8, 3, Artikel 19 (August 2011), 14 Seiten. DOI = 10.1145 / 2010325.2010329 <http://doi.acm.org/10.1145/2010325.2010329>

1. EINLEITUNG

Es ist ein herausforderndes und wichtiges Problem, Wege zu finden, um in virtuellen Umgebungen räumlich zu navigieren, die vergleichbar mit der räumlichen Navigation in der realen Welt sind, und die erhebliche Aufmerksamkeit erhalten hat [Chance et al. 1998; Klatzky et al. 1998; Lathrop und Kaiser 2005; Ruddle and Lessels 2006, 2009; Riecke et al. 2010]. Zwei wichtige Bedenken sind, ob und wie viel körperliche Bewegung ist

Dieses Material basiert auf Arbeiten, die von der National Science Foundation im Rahmen der Zuschüsse 0705863 und 0821640 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. Die Autoren danken dem Rhodes College Fellowship-Programm für die Unterstützung von Stephen Bailey während seiner Studienzeit. Die Autoren danken auch dem CISM-Projekt an der Universität von North Carolina in Chapel Hill, das vom NIH / NCRR und dem NIH / NIBIB-Preis 2P41EB002025 unterstützt wird, für die Verwendung ihrer VRPN-Software.

Autorenadressen: B. Williams, Fakultät für Mathematik und Informatik, Rhodes College, 2000 N Parkway, Memphis, TN 38112; E-Mail: williamsb@rhodes.edu; S. Bailey, G. Narasimham, M. Li, B. Bodenheimer, Vanderbilt University, 2301 Vanderbilt Place, Nashville, TN 37235.

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 Gewinn oder zum kommerziellen Vorteil angefertigt oder verteilt werden und die Kopien diesen Hinweis auf der ersten Seite oder auf dem ersten Bildschirm von anzeigen eine Anzeige zusammen mit dem vollständigen Zitat. 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, auf Listen weiterzugeben oder eine Komponente dieses Werks in anderen Werken zu verwenden, ist eine vorherige Genehmigung und / oder eine Gebühr erforderlich. Genehmigungen können bei Publications Dept., ACM, Inc., 2 Penn Plaza, Suite 701, New York, NY 10121-0701 USA, Fax +1 (212) 869-0481 oder permissions@acm.org angefordert werden .

© 2011 ACM 1544-3558 / 2011/08-ART19 10,00 USD

DOI 10.1145 / 2010325.2010329 <http://doi.acm.org/10.1145/2010325.2010329>

ACM Transactions on Applied Perception. 8, Nr. 3, Artikel 19, Erscheinungsdatum: August 2011.

notwendig, um eine gute Leistung in einer virtuellen Umgebung zu erzielen. Ein bedeutendes Werk hat den Nutzen der propriozeptiven Hinweise auf körperliche Bewegung bei räumlichen Aufgaben gezeigt [Bakker et al. 1999; Klatzky et al. 1998; Lathrop und Kaiser 2005; Pausch et al. 1997; Chance et al. 1998; Ruddle und Lessels 2006; 2009; Riecke et al. 2010], aber es gibt einige Meinungsverschiedenheiten darüber, ob die Bewegung laufen muss [Ruddle und Lessels 2009] oder ob eine einfache physische Rotation ausreichen würde [Riecke et al. 2010]. In diesem Artikel untersuchen wir eine Zwischenmethode, "Walking In Place" (WIP).

Es gibt zwei Probleme beim Erkunden einer virtuellen Umgebung durch physisches Gehen. Erstens ist ein genaues Tracking-System in Raumgröße relativ teuer, schwierig einzurichten und für Verbraucher nicht ohne weiteres verfügbar. Zweitens erlaubt die Fußerkundung nicht die freie Erkundung virtueller Räume, die größer sind als die Größe des verfolgten Raums. In dieser Arbeit wird daher eine WIP-Methode vorgestellt, mit der die virtuelle Umgebung mithilfe einer Nintendo Wii Fit untersucht werden kann TM Balance Board. Wii Balance Boards sind in Einzelhandelsgeschäften und im Einzelhandel für knapp 100 USD erhältlich. Dies macht das Wii Balance Board zu einem potenziell praktikablen Gerät für die Erkundung virtueller Umgebungen in Haushalten, Schulen und Büros. Darüber hinaus unterliegt WIP auf dem Wii Balance Board (WIP - Wii) keinen Platzbeschränkungen. Unsere Arbeit konzentriert sich auf die Head-Mounted Display (HMD) -Technologie aufgrund ihrer immersiven Eigenschaften, der breiten Verfügbarkeit und der relativ geringen Kosten im Vergleich zu anderen immersiven Technologien für virtuelle Umgebungen. Zum Beispiel kann ein kostengünstiges HMD für weniger als 1500 USD gekauft werden. HMDs werden normalerweise mit einem Orientierungssensor montiert, der die Neigung, das Gieren und das Rollen des Benutzers in der virtuellen Umgebung aktualisiert. Ein High-Delity-Orientierungs-Tracker kostet in der Größenordnung von 1200 USD.

Eine naheliegende und kostengünstige Lösung für die Erkundung einer virtuellen Umgebung mit diesem HMD-basierten System besteht darin, einen Joystick zu verwenden, um in der virtuellen Umgebung frei zu übersetzen. Es wurde jedoch gezeigt, dass diese Methode der körperlichen Fortbewegung unterlegen ist [Chance et al. 1998; Ruddle und Lessels 2006; Lathrop und Kaiser 2002]. Diese Arbeit vergleicht Joystick-Übersetzungen direkt mit WIP-Wii. Andere Verfahren, zum Beispiel Razzaque et al. [2001], Engel et al. [2008], Nitzsche et al. [2004], Steinicke et al. [2010], Interrante et al. [2007], Williams et al. [2006], Usoh et al. [1999], Fernandes et al. [2003], Schwaiger et al. [2007] wurden auch vorgeschlagen, eine virtuelle Umgebung zu untersuchen, und wir untersuchen diese in Abschnitt 2. Wir sind nicht die ersten, die sich mit WIP befassen, um eine virtuelle Umgebung zu untersuchen. Ein Großteil der bisherigen WIP-Arbeiten umfasste die Verwendung relativ teurer optischer Verfolgungssysteme, die Knie- und Schienbeinbewegungen verfolgen, um auf die Fortbewegung zu schließen [Feasel et al. 2008; Wendt et al. 2010]. Es scheint auch keine Studie zu geben, die die WIP-Methode im Hinblick auf die räumliche Ausrichtung des Benutzers in der virtuellen Umgebung genau untersucht. Im Gegensatz dazu verwendet diese Arbeit eine kostengünstige Implementierung der WIP-Methode und untersucht die räumliche Ausrichtung des Benutzers in Bezug auf die virtuelle Umgebung. Wie in Abschnitt 2 diskutiert, aktuelle WIP-Forschung [Slater et al. 1995; Templeman et al. 1999; Feasel et al. 2008; Wendt et al. 2010] konzentriert sich auf Implementierungsdetails und Usability-Studien. Es scheint keine Studie zu geben, die die WIP-Methode im Hinblick auf die räumliche Ausrichtung des Benutzers in der virtuellen Umgebung genau untersucht. Im Gegensatz dazu verwendet diese Arbeit eine kostengünstige Implementierung der WIP-Methode und untersucht die räumliche Ausrichtung des Benutzers in Bezug auf die virtuelle Umgebung. Wie in Abschnitt 2 diskutiert, aktuelle WIP-Forschung [Slater et al. 1995; Templeman et al. 1999; Feasel et al. 2008; Wendt et al. 2010] konzentriert sich auf Implementierungsdetails und Usability-Studien. Es scheint keine Studie zu geben, die die WIP-Methode im Hinblick auf die räumliche Ausrichtung des Benutzers in der virtuellen Umgebung genau untersucht. Im Gegensatz dazu verwendet diese Arbeit eine kostengünstige Implementierung der WIP-Methode und untersucht die räumliche Ausrichtung des Benutzers in Bezug auf die virtuelle Umgebung. Wie in Abschnitt 2 diskutiert, aktuelle WIP-Forschung [Slater et al. 1995; Templeman et al. 1999; Feasel et al. 2008; Wendt et al. 2010] konzentriert sich auf Implementierungsdetails und Usability-Studien.

Diese Arbeit basiert auf der Untersuchung der räumlichen Orientierung des Menschen in einer virtuellen Umgebung. Die räumliche Orientierung bezieht sich auf die natürliche Fähigkeit des Menschen, seine Körperorientierung und Position relativ zur Umgebung beizubehalten. Die räumliche Orientierung hängt stark von visuellen Informationen und Ganzkörperinformationen ab, während Sie sich in einer Umgebung bewegen [Wartenberg et al. 1998]. Frühere Arbeiten haben gezeigt, dass Benutzer in einer virtuellen Umgebung Schwierigkeiten haben können, die räumliche Ausrichtung beizubehalten [Péruch et al. 2000]. Die Gründe dafür sind nicht gut verstanden, aber es ist bekannt, dass viele Hinweise beeinflussen, wie gut Menschen ihre räumliche Orientierung beibehalten können. Diese Hinweise können allgemein als Bewegungshinweise oder Umgebungshinweise klassifiziert werden. Wie in Abschnitt 2 erläutert, Viele der Methoden zur Überwindung physischer Platzbeschränkungen bei der Erkundung großer virtueller Umgebungen zielen darauf ab, Bewegungshinweise vorteilhaft zu manipulieren. Entscheidend für unsere Ziele ist, dass solche Manipulationen die räumliche Ausrichtung eines Benutzers so wenig wie möglich erhalten oder verschlechtern [Rieser und Pick 2007].

Das in dieser Arbeit vorgestellte Experiment innerhalb des Subjekts vergleicht die räumliche Orientierung der Subjekte unter normalem Gehen, WIP auf dem Wii Balance Board (WIP-Wii) und Joystick-Fortbewegung. In allen drei

Methoden drehen sich die Probanden physisch. Die Drehung wird unter allen drei Bedingungen mithilfe eines Orientierungssensors aktualisiert. Sowohl unter WIP-Wii- als auch unter Joystick-Bedingungen werden die Probanden in die Richtung verschoben, in die sie blicken (oder in den Gierwinkel). Die Blickrichtung wird vom Orientierungs-Tracker berechnet. Daher erfordert unser WIP-Wii-Algorithmus die Verwendung eines Orientierungs-Trackers. Jedes immersive HMD-System, das die Orientierung aktualisiert, verfügt über eine Art Orientierungssensor. In dem in dieser Arbeit vorgestellten Experiment wird die räumliche Orientierung bewertet, indem Fehler und Latenzen bei Aufgaben gemessen werden, bei denen sich die Probanden von ihrer Position in der virtuellen Umgebung aus einem erinnerten Objekt zuwenden. Disparität ist definiert als der Unterschied zwischen der tatsächlichen Blickrichtung und der Richtung, die erforderlich ist, um dem Ziel zugewandt zu sein.

2. HINTERGRUND

Frühere Forschungen haben verschiedene Techniken zum Navigieren in einer 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; Pausch et al. 1995]. Studien haben jedoch gezeigt, dass die Verwendung von physischer bipedaler Fortbewegung anstelle von haptischen Geräten zu einer deutlich besseren räumlichen Orientierung führt [Chance et al. 1998; Ruddle and Lessels 2006; Lathrop und Kaiser 2002]. Suma et al. [2007] zeigen, dass die Verwendung der Positions- und Orientierungsverfolgung mit einem HMD wesentlich besser ist als die Verwendung eines Systems, das die Orientierungsverfolgung und ein haptisches Gerät für Übersetzungen kombiniert. Riecke et al. [2010] fanden heraus, dass Joystick-Übersetzungen und physische Rotationen zu einer besseren Leistung führten als die Joystick-Navigation.

Williams et al. [2006] zeigen, dass der Translationsgewinn des Gehens um den Faktor zehn skaliert werden kann und dass es keinen signifikanten Unterschied im räumlichen Bewusstsein gibt, verglichen mit der Erkundung einer Umgebung mit normaler bipedaler Fortbewegung. Darüber hinaus vergleicht diese Arbeit die Joystick-Erkundung direkt mit dem um zehn skalierten Gewinn des physischen Gehens und stellt fest, dass die physische Fortbewegung zu einem deutlich besseren räumlichen Bewusstsein führt. Interrante et al. [2007] schlugen eine Methode namens "Seven League Boots" vor, bei der die Verstärkung basierend auf der Zauberstabkontrolle skaliert wird. Eine andere Methode zum Navigieren in 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; Engel et al. 2008; Nitzsche et al. 2004; Steinicke et al. 2010]. Diese Verfahren erfordern einen großen Verfolgungsbereich, damit die Rotationsmanipulation nicht wahrnehmbar ist, und bilden keine vollständige Lösung, da leicht eine Situation auftreten kann, in der die physikalischen Grenzen des Verfolgungssystems erreicht werden. Alle vorhergehenden Verfahren zur Manipulation der Fortbewegung erfordern die Verwendung eines relativ teuren Verfolgungssystems, um die physische Position des Benutzers zu erfassen. Virtuelles Fliegen [Usoh et al. 1999] und Teleportieren sind andere Möglichkeiten, große virtuelle Umgebungen zu erkunden, aber es fehlt ihnen das Feedback von Lokomotiven. Alle vorhergehenden Verfahren zur Manipulation der Fortbewegung erfordern die Verwendung eines relativ teuren Verfolgungssystems, um die physische Position des Benutzers zu erfassen. Virtuelles Fliegen [Usoh et al. 1999] und Teleportieren sind andere Möglichkeiten, große virtuelle Umgebungen zu erkunden, aber es fehlt ihnen das Feedback von Lokomotiven. Alle vorhergehenden Verfahren zur Manipulation der Fortbewegung erfordern die Verwendung eines relativ teuren Verfolgungssystems, um die physische Position des Benutzers zu erfassen. Virtuelles Fliegen [Usoh et al. 1999] und Teleportieren sind andere Möglichkeiten, große virtuelle Umgebungen zu erkunden, aber es fehlt ihnen das Feedback von Lokomotiven.

Die vorliegende Arbeit untersucht die Erkundung einer virtuellen Umgebung mit „Walking In Place“ (WIP). Verschiedene Techniken von WIP zur Erforschung einer virtuellen Umgebung wurden vorgeschlagen [Slater et al. 1995; Templeman et al. 1999; Feasel et al. 2008; Wendt et al. 2010]. Diese Arbeiten haben sich auf Schritterkennungsalgorithmen konzentriert. Slater et al. [1995] trainieren ein neuronales Netzwerk, um Schritte aus der Kopfbewegung zu erkennen. Dieser Algorithmus war insofern etwas unnatürlich, als der Algorithmus vier Schritte von den Benutzern erkennen musste, bevor er den Benutzer mit der Idee übersetzen konnte, dass falsch-positive Schritte verwirrender sind als die sofortige Erkennung eines Schritts. Außerdem hörte die virtuelle Bewegung auf, als zwei Zyklen lang keine Schritte erkannt wurden. Eine Usability-Studie von Usoh et al. [1999] zeigten, dass diese Methode besser als virtuelles Fliegen war, aber nicht so gut wie Gehen. Templeman et al. [1999] verwenden Motion Capture, um einen Schritt zu erkennen, wenn das Knie eine bestimmte Position erreicht. Es hat sich gezeigt, dass diese Methode in einem Testpfad für Usability-Studien nach Aufgaben gut funktioniert, sie wurde jedoch in einer räumlichen Orientierungsaufgabe nicht direkt mit anderen Methoden verglichen. Feasel et al. [2008] verfolgen Sie die Füße und Knie des Benutzers, um auf virtuelle Schritte zu schließen. Bei ihrer Step-Finding-Methode fehlen die Latenzprobleme früherer Methoden. Die Teilnehmer bewegen sich in der virtuellen Umgebung entsprechend einer Truhe

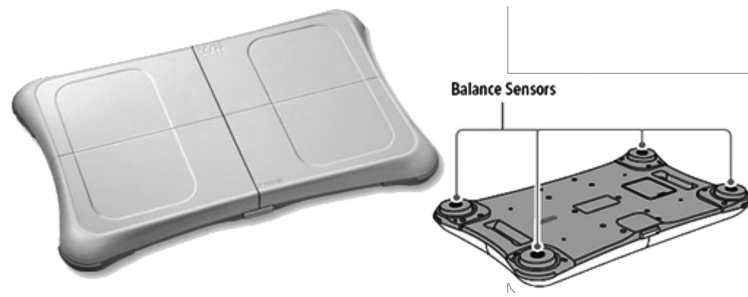


Abb. 1. Dieses Bild zeigt das Nintendo Wii Fit Balance Board. Die Drucksensoren oder Ausgleichssensoren befinden sich unter der Platine an den Ecken der Platine.

Orientierungssensor. In einer Usability-Studie stellen sie fest, dass „Walking in Place“ ungefähr so gut ist wie ein Joystick, aber viel schlechter als echtes Walking. Interessanterweise stimmt dieser Befund nicht mit unseren Ergebnissen überein. Wendt et al. [2010] verfolgen auch die Knie mit einem optischen Bewegungserfassungssystem. Sie können dem Gang des realen Gehens sehr nahe kommen, obwohl sie ihre Methode nicht mit anderen Formen der virtuellen Fortbewegung verglichen haben. Alle genannten WIP-Methoden verwenden relativ teure Verfolgungssysteme, um die Position der Knie, Schienbeine, Füße oder des Kopfes zu verfolgen. Die Wii Fit™ kostet weniger als 100 USD. Unsere Methode zur Stufendetektion ist nicht so ausgefeilt wie viele der vorhergehenden Methoden, aber unsere Ergebnisse sind überzeugend.

Andere Systeme zur Erkundung einer großen virtuellen Umgebung umfassen Höhlen mit großem Bildschirm und Fortbewegungseingabe wie ein Fahrrad oder ein Laufband [Plumert et al. 2004]. Höhlenbasierte Systeme 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. Andere teure Hardwarelösungen zur Erkundung einer großen virtuellen Umgebung sind CyberSphere [Fernandes et al. 2003] und der CyberWalk [Schwaiger et al. 2007].

Wir vergleichen direkt die räumliche Ausrichtung der Teilnehmer in einer virtuellen Umgebung, wenn die Umgebung mit einem Joystick erkundet wird, physisch läuft und unsere Wii-WIP-Methode verwendet wird. Eine Einschränkung unserer Arbeit besteht darin, dass wir keinen realen Basisvergleich durchgeführt haben. Viele Studien [Bowman et al. 1999; Waller et al. 1998; Williams et al. 2007] haben einen Unterschied zwischen virtueller Erkundung und realer Erkundung festgestellt. In dieser Arbeit waren wir daran interessiert zu sehen, wie gut unsere WIP-Wii-Methode im Vergleich zu anderen Methoden der virtuellen Erkundung ist. Wir möchten diese Idee jedoch in zukünftigen Arbeiten weiterverfolgen.

3. WIP-WII-UMSETZUNGSDetails

In diesem Abschnitt werden die Implementierungsdetails unserer Einführung in einen WIP-Wii-Algorithmus (Nintendo Wii-Fit Balance Board) erläutert. Das Wii Balance Board enthält vier Drucksensoren, wie in Abbildung 1 an jeder der vier Ecken dargestellt. Daher verwendet unsere WIP-Wii-Methode die Gewichtsmessungen, die von jedem der vier Drucksensoren erhalten wurden. Das Programm übersetzt die Benutzer nach vorne, je nachdem, wie schnell die Benutzer ihr Gewicht von einer Ecke des Bretts zur anderen verlagern. Mit unserem Wii-WIP-Algorithmus gehen Benutzer in die Richtung, in die ihr Kopf zeigt. Insbesondere gingen die Teilnehmer auf dem Wii Balance Board an Ort und Stelle und übersetzten in der virtuellen Umgebung entsprechend der Gierrichtung, in die sie blickten. Die Neigung, das Gieren und das Rollen des Teilnehmers wurden unter Verwendung eines Orientierungssensors aktualisiert. Wir führten mehrere informelle Pilot-Usability-Studien durch und stellten fest, dass WIP am natürlichsten war, wenn die Bewegungsrichtung durch die Blickrichtung gesteuert wurde. Bei unserer WIP-Methode tritt eine gewisse Verzögerung bei der Erkennung von Schritten auf. Wir schätzen, dass unsere Methode zu Beginn etwa einen halben Schritt zurückliegt

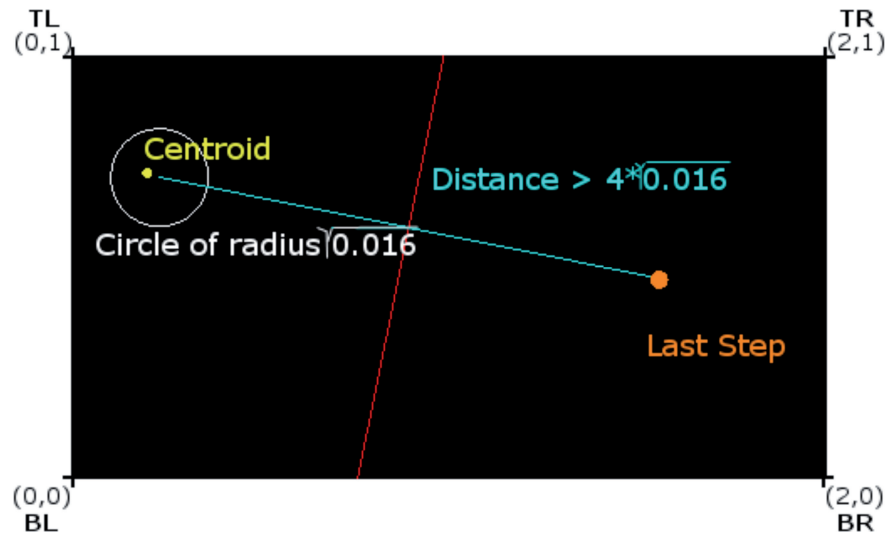


Abb. 2. Diese Abbildung zeigt die Grundlagen unseres WIP-Wii-Algorithmus. Die Drucksensoren (TL, TR, BL, BR) sind auf th abgebildet ✓

e vier

Ecken von 2×1 Rechteck. Das Programm berechnet den Schwerpunkt alle 60 Hz. Ein Schritt wird erkannt, wenn die Schwerpunkte innerhalb einer 0.016 liegen für eine bestimmte Zeit voneinander und der Abstand vom letzten Schritt ist größer als $4 \times \sqrt{0.016}$.

Aktualisieren Sie die Position des Benutzers in der virtuellen Umgebung. Es ist auch ungefähr einen halben Schritt hinter dem Unterbrechen des optischen Flusses, wenn ein Benutzer aufhört, an Ort und Stelle zu gehen. Diese Verzögerung ist auf die Einschränkungen zurückzuführen, die das Gehen von vier Gewichtssensoren simulieren. Die Teilnehmer fanden diese Verzögerung nicht ablenkend.

Wir haben die Positionen der Sensoren auf eine 2×1 rechteckiges Gitter, da die Länge der Platte ungefähr doppelt so groß war wie die Breite. Dies ermöglichte es uns, die Sensordaten so zu behandeln, als ob sie von Sensoren an vier Ecken eines Quadrats stammen würden. Dies war wichtig, weil es den Teilnehmern ermöglichte, „zu Fuß zu gehen an Ort und Stelle“ in einer beliebigen Ausrichtung auf dem Wii Balance Board. Unten links (s_{BL}), oben links (s_{TL}), oben rechts (s_{TR}) und unten rechts (s_{BR}). Die Sensoren befanden sich bei $(0, 0)$, $(0, 1)$, $(2, 1)$ bzw. $(2, 0)$. Das Gesamtgewicht des Benutzers wird wie folgt berechnet:

$$w_{acht} = s_{TR} + s_{TL} + s_{BR} + s_{BL} \quad (1)$$

In unserem Algorithmus haben wir die Position des Massenschwerpunkts verwendet, oder *Schwerpunkt*, um zu berechnen, ob ein Benutzer gehen wollte. Somit wurden die Werte der vier Sensoren kombiniert, um den 2D-Schwerpunkt zu bilden. Das x und y Koordinaten der *Schwerpunkt* wurden wie folgt berechnet.

$$Schwerpunkt_x = ((s_{TR} + s_{BR}) / w_{acht}) * 2, \quad (2)$$

$$Schwerpunkt_y = (s_{TL} + s_{TR}) / w_{acht}. \quad (3)$$

Nochmal, *Schwerpunkt_x* wird mit 2 multipliziert, um der rechteckigen Form der Waage zu entsprechen. Die Koordinaten des Schwerpunkts wurden alle 60 Hz berechnet (die Bildwiederholfrequenz sowohl des Wii-Boards als auch des HMD).

Ein Schritt wurde erkannt, wenn sich der Schwerpunkt um eine feste Strecke bewegte und innerhalb eines bestimmten Radius blieb

für eine feste Zeitspanne. Für dieses Experiment musste die Zeit bleiben, in der der Schwerpunkt verbleiben musste ✓

in einem bestimmten Bereich

betrug 0.15 s, bevor ein Schritt erkannt wurde, und die verwendete Fläche war ein Kreis mit einem Radius von 0.016 Einheiten. Dieser Radius wurde aus informellen Experimenten mit mehreren Piloten mit unterschiedlichem Gewicht abgeleitet. es ist in Abbildung 2 zu sehen.

Daher führen wir zwei Variablen ein: *verstrichene Zeit* und *ein v gCentroid*, um die Zeit zu verfolgen, bleibt der Schwerpunkt über die verstrichene Zeit innerhalb des Radiusabstands und des durchschnittlichen Mittelpunkts des Schwerpunkts. Wir initialisieren *verstrichene Zeit* gleich 1 / 60s (die Bildwiederholfrequenz des HMD) und *ein v gCentroid* gleich dem anfänglichen Schwerpunktwert.

Wenn also der Schwerpunkt alle 60 Hz berechnet wurde, *ein v gCentroid* und *vergeht* $\sqrt{\frac{edTime}{60}}$ wurden aktualisiert. Wenn Der Abstand zwischen dem aktuellen Schwerpunkt und dem avgCentroid betrug weniger als 0,016, dann wurde avgCentroid entsprechend aktualisiert

$$ein\ v\ gCentroid = a\ v\ gCentroid + \frac{verstrichenTime + Schwerpunkt}{verstrichenTime + 1} \cdot \frac{1}{60} \quad (4)$$

und *verstrichene Zeit* wurde um 1 / 60s erhöht. Wenn $\sqrt{\frac{edTime}{60}}$ das *verstrichene Zeit* erreichte einen Wert von 0,15 s, wurde ein Schritt geschützt. Wenn der aktuelle Schwerpunkt nicht innerhalb von 0,016 Einheiten vom *ein v gCentroid*, dann *verstrichene Zeit* wurde erneut auf 1/60 Sek. eingestellt und *ein v gCentroid* war gleich dem aktuellen Schwerpunkt. Wenn das berechnet wird *Schwerpunkt* bleibt der Algorithmus innerhalb des angegebenen Abstands vom Durchschnittswert des Schwerpunkts für die angegebene Zeitdauer, so hat der Algorithmus einen Schritt erkannt. Wenn ein Schritt erkannt wurde, wurde die Zeit, zu der der Schritt erkannt wurde, zusammen mit dem Abstand zwischen der Position des Schwerpunkts in diesem Schritt und der Position des Schwerpunkts im vorherigen Schritt aufgezeichnet. Der durchschnittliche Schwerpunktwert und der verstrichene Zeitwert wurden zurückgesetzt und das $\sqrt{\frac{edTime}{60}}$ Der Algorithmus würde nicht versuchen, einen weiteren Schritt zu erkennen, bis sich der Schwerpunkt um eine Strecke von $4 \times 0,016$ Einheiten von der Position entfernt hat, an der der letzte Schritt erkannt wurde.

Sobald ein Schritt erkannt wurde, bewegte sich der Teilnehmer in der virtuellen Umgebung in Richtung seines Blicks. Die Geschwindigkeit dieser Übersetzung wurde unter Verwendung der Änderung der Position des bestimmt

Schwerpunkt. Die Änderungsrate zum Zeitpunkt *ich* wurde unter Verwendung des aktuellen Wertes des Schwerpunkts berechnet, *Schwerpunkt_{ich}* und der vorherige Wert des Schwerpunkts, *Schwerpunkt_{ich-1}*.

$$Änderungsrate_i = \frac{\| Schwerpunkt_{ich} - Schwerpunkt_{ich-1} \|}{\frac{1}{60}} \quad (5)$$

Um plötzliche Änderungen der Änderungsrate zu korrigieren, wurden die letzten 10 Berechnungen für die Änderungsrate aufgezeichnet und zu einer durchschnittlichen Änderungsrate summiert. Die durchschnittliche Änderungsrate wurde berechnet als

$$ein\ v\ gRateOfChange_i = \frac{1}{10} \sum_{j=i}^{ich-10} Änderungsrate_j \quad (6)$$

wo *ich* repräsentiert eine aufgezeichnete Änderungsrate. Die durchschnittliche Änderungsrate, *avgRateOfChange*, wurde verwendet, um zu bestimmen, wie weit sich der Benutzer in der virtuellen Umgebung pro Frame bewegen soll.

Wenn der Benutzer still stand und sein Gewicht von einer Seite auf die andere verlagerte, traten Probleme mit unserem Algorithmus auf. Daher haben wir beschlossen, die Position des Benutzers nur zu aktualisieren, wenn innerhalb von zwei Sekunden nach dem letzten Schritt ein Schritt erkannt wurde. Wenn der Benutzer den ersten Schritt unternimmt, um mit der Übersetzung zu beginnen, oder einen Schritt unternimmt, nachdem er länger als zwei Sekunden gewartet hat, wird die Position für diesen Schritt nicht aktualisiert. Stattdessen wartet das Programm bis zum nächsten Schritt, um mit der Übersetzung der Position des Benutzers zu beginnen. Dies wurde durchgeführt, um zu verhindern, dass die Position des Benutzers aufgrund kleiner Verschiebungen des Körpergewichts auf dem Wii Balance Board im Stillstand des Benutzers driftet.

Die Geschwindigkeit, mit der sich die Ansicht bewegte, hing von der Änderungsrate des Schwerpunkts geteilt durch den Abstand zwischen den beiden vorherigen Schritten ab. Zunächst wird die Durchschnittsgeschwindigkeit erneut berechnet, um plötzliche Geschwindigkeitsänderungen zu vermeiden. Dies geschieht wie folgt:

$$ein\ v\ erageSpeed = 1 - \frac{\sum_{k=0}^5 ein\ v\ gRateOfChange_k}{6} \quad (7)$$

wo $avgRateOfChange_k$ ist der k Die zuvor aufgezeichnete durchschnittliche Änderungsrate. Sechs vorherige Werte werden aufgezeichnet, da dies die Durchschnittsgeschwindigkeit ausreichend geglättet hat, so dass es keine plötzlichen Sprünge gab verursacht durch eine plötzliche Änderung der Geschwindigkeit. Wenn eine Geschwindigkeit einen Wert von weniger als 0,03 hatte oder wenn die seit dem letzten Schritt verstrichene Zeit größer als das 0,75-fache der Zeit zwischen dem vorletzten und dem letzten Schritt war, zeichnete der Algorithmus alle zwei Male eine Geschwindigkeit von 0 auf. Algorithmus wurde aktualisiert. Das Aufzeichnen einer Null anstelle der Geschwindigkeit des Schwerpunkts nach dem 0,75-fachen der Zeit zwischen den beiden vorherigen Schritten hatte zur Folge, dass die Bewegung des Benutzers unmittelbar vor dem nächsten Schritt verlangsamt wurde oder gestoppt wurde, was das echte Gehen nachahmt. Der Faktor 0,75 wurde durch informelle Tests ausgewählt, da kleinere Werte dazu führten, dass der Benutzer lange vor dem nächsten Schritt vollständig zum Stillstand kam, und größere Werte dazu führten, dass der Benutzer zu weit zwischen den Schritten und nach dem letzten Schritt driftete, wenn der Benutzer zu einem kommen wollte Stop.

Sobald die Durchschnittsgeschwindigkeit, $averageSpeed$, berechnet wurde, die Endgeschwindigkeit des Benutzers, $finalSpeed$ wurde geändert als

$$finalSpeed = averageSpeed / stepDistance, \quad (8)$$

wo $stepDistance$ ist der Abstand zwischen den Schwerpunktpositionen der beiden letzten Schritte. Das $averageSpeed$ wurde geteilt durch die $stepDistance$. Damit bewegte sich der Benutzer ungefähr die gleiche Strecke pro Schritt, unabhängig davon, wie weit die letzten beiden Schritte auf dem Wii Balance Board voneinander entfernt oder geschlossen waren. Somit ist das Ergebnis der Division durch $stepDistance$. Der Benutzer konnte nicht schneller fahren, indem er seine Füße auf dem Wii-Board weiter auseinander spreizte. Schnellere Schritte waren daher die einzige Möglichkeit, den visuellen Fluss zu erhöhen. Die Entfernung wurde berechnet als

$$distance = finalSpeed * verstrichene\ Zeit * 20, \quad (9)$$

wo $verstrichene\ Zeit$ ist der Zeitunterschied seit dem letzten Update. Somit bewegte sich der Benutzer *Entfernung* in die Richtung, in die sie blickten. Wir haben den Wert mit 20 multipliziert, damit die Bewegung der Bewegung entspricht, die durch physische Fortbewegung in der virtuellen Umgebung beobachtet wird. Die Anzahl der Schritte, die erforderlich sind, um den virtuellen Raum (6 m) durch physisches Gehen zu durchqueren, entsprach der Anzahl der Schritte mit der WIP-Wii.

Wenn Benutzer ihre Blickrichtung erheblich ändern, heben sie häufig ihre Füße hoch. Wir wollten diese Art der Fortbewegung ignorieren, weil der Benutzer nicht die Absicht hatte, sich vorwärts zu bewegen, sondern seinen Körper in eine neue Richtung drehen wollte. Wir haben erkannte Schritte ignoriert, wenn sich die Ansicht mit einer Geschwindigkeit von mehr als 20 drehte - pro Sekunde. Wir kamen um 20 an - durch informelle Pilotstudien. Wenn sich ein Benutzer drehte, während er sich beim Gehen umsah, drehte er seinen Kopf mindestens 20 Mal - pro Sekunde, wenn sie ihren Körper drehten, um die Richtung zu ändern, und sie würden ihren Kopf weniger als 20 drehen - pro Sekunde, wenn sie sich beim Gehen umsahen, aber keine Richtungen drehten.

4. EXPERIMENTELLE BEWERTUNG

In diesem Experiment werden Fortbewegungsschnittstellen verglichen, die von drei verschiedenen motorischen Aktionen abhängen, um die Perspektive der Probanden im virtuellen Raum zu übersetzen. Dabei werden Bipedal-Fortbewegung, Joystick-Manipulation und WIP auf dem Wii Balance Board (WIP - Wii) gegenübergestellt. Die Ergebnisse der Studie vergleichen Lernen und Orientierung unter den drei verschiedenen Bedingungen. Um die Orientierung der Probanden zu testen, wurden die Probanden gebeten, sich die Positionen von sechs Objekten in einem virtuellen Raum zu merken. Anschließend wurden sie aufgefordert, sich (durch Gehen, Joystick oder WIP-Wii) zu einem neuen Beobachtungspunkt zu bewegen und sich dem Gesicht zuzuwenden Ziele aus dem Gedächtnis ohne Vision.

4.1 Teilnehmer

Zwölf Probanden nahmen an dem Experiment teil. Die Probanden waren mit dem Experiment und den virtuellen Umgebungen nicht vertraut. Die Probanden erhielten eine Entschädigung für ihre Teilnahme.



Abb. 3. Diese Abbildung zeigt die im Experiment verwendete virtuelle Umgebung. Zielobjekte erscheinen auf Säulen. Bei jedem Versuch positionieren sich die Probanden am roten Zylinder mit Blick auf den roten Pfeil. Die räumliche Ausrichtung wird bewertet, indem der Drehfehler und die Latenz gemessen werden, die mit der Ausrichtung von Zielobjekten an verschiedenen Testorten verbunden sind.

4.2 Materialien

Das Experiment wurde in einem Raum von 9 mal 7 m durchgeführt. Die virtuelle Umgebung wurde über ein Vollfarb-Stereo-NVIS-Visor-SX-Head-Mounted-Display (HMD) mit 1280 angezeigt \times 1 024 Auflösung pro Auge, Herstellerspezifikation eines Sichtfeldes von 60° diagonal und eine optische Bildrate von 60 Hz. Ein InterSense IS-900-Tracker wurde verwendet, um die Drehbewegungen des Teilnehmers um alle drei Achsen zu aktualisieren. Im Gehzustand wurde die Position von der WorldViz PPT-Software unter Verwendung von 4 optischen Kameras interpoliert, die 2 am HMD montierte LED-Lichter verfolgen. Der in diesem Experiment verwendete Verfolgungsraum betrug ungefähr 6 m \times 1 6 m. Der in diesem Experiment verwendete drahtlose Joystick war der Logitech Freedom 2.4. Die Nintendo Wii Fit™ Balance Board war ungefähr 20,1 "L. \times 1 12,4 "W. \times 1 2,1 "H. Ein Wii Balance Board wurde über Bluetooth mit einem Remotecomputer verbunden, und dieser Computer wurde über ein VRPN mit dem Virtual-Reality-System verbunden. Der im Experiment verwendete virtuelle Raum war 6 x 6 m groß und entsprach genau der Größe des Verfolgungsraums. An den Wänden des Raumes wurden Plakate angebracht, um dem Teilnehmer ein Gefühl für Größe und Größe zu vermitteln. Für jede Bedingung wurde ein anderer Satz von sechs Objekten an bestimmten Positionen im Raum auf Säulen platziert, wie in Abbildung 3 dargestellt. Diese sechs Zielobjekte wurden in einer bestimmten Konfiguration angeordnet, so dass die Konfiguration in allen drei Bedingungen nur um variierte eine Drehung um die Mittelachse. Auf diese Weise wurden die Winkel der korrekten Reaktion über jede der Bedingungen hinweg beibehalten. Beispiele für einige der Zielobjekte waren ein Becher, eine Sonnenbrille, eine Kerze, und ein Hammer. Zusätzlich verwendeten wir zwei verschiedene Objekte, die auf Säulen montiert waren, um den Teilnehmer vor der Zielerinnerungsphase mit dem Aufbau des Experiments vertraut zu machen. Ein Zylinder und ein Pfeil, wie in 3 gezeigt, wurden verwendet, um die Position und Orientierung eines Teilnehmers anzuzeigen, der für einen bestimmten Versuch benötigt wird.

4.3 Vorgehensweise

Jeder der 12 Teilnehmer erkundete jede der Umgebungen unter den drei verschiedenen Bedingungen der translatorischen Fortbewegung: normales Gehen, WIP-Wii und Joystick-Fortbewegung. Unter allen drei Bedingungen stimmte die Rotation in der virtuellen Umgebung mit der Rotation in der physischen Umgebung überein. Im Joystick-Zustand verwendeten die Teilnehmer eine physische Rotation und bewegten sich durch Joystick-Übersetzungen in Blickrichtung.

Die Verwendung eines Joysticks hat keine natürliche Metrik. Das heißt, ein bestimmter Winkel des Joysticks wird keinem entsprechenden Übersetzungsbetrag zugeordnet. Um einen einigermaßen natürlich wirkenden Fortbewegungsmodus zu schaffen, haben wir uns überlegt, dass das Drücken des Joysticks bis zu seiner äußersten Ausdehnung auf eine schnelle, aber relativ komfortable Gehgeschwindigkeit abgebildet werden sollte. Die maximale Joystick-Übersetzungsrate betrug 1 m / s beim normalen Gehen. Die Probanden könnten mit dem Joystick langsamer fahren, genauso wie die Probanden im Fortbewegungszustand langsamer als normal laufen könnten. Im WIP-Wii-Zustand bewegten sich die Teilnehmer auch in Blickrichtung.

Da es sechs Ordnungen der drei Fortbewegungsbedingungen gab, wurden zwei Probanden in jeder Reihenfolge in einer ausgeglichenen Weise getestet. Das experimentelle Verfahren wurde den Probanden vor dem Betrachten der virtuellen Umgebungen vollständig erklärt. Bevor der Proband die Zielobjekte in jeder Bedingung sah, wurden dem Teilnehmer zwei Objekte auf Säulen gezeigt, die in unserem Testset nicht vorkamen. Die Teilnehmer führten in dieser Umgebung mehrere Übungsversuche durch, um sich mit dem Aufbau und dem Versuchsaufbau vertraut zu machen. Nachdem das Subjekt die Aufgabe und den Zustand verstanden hatte, verschwanden die Übungszielobjekte. Der Teilnehmer übte dann den Fortbewegungszustand, indem er sich zu verschiedenen Postern an der Wand bewegte. Sobald die Teilnehmer damit vertraut waren, Sie wurden gebeten, in die Mitte des Raumes zu gehen, wo ein Satz von sechs Objekten auf sechs Säulen ausgestellt war. Während der Lernphase wurden die Probanden gebeten, die Positionen der sechs Zielobjekte zu lernen, während sie sich frei in der virtuellen Umgebung bewegen konnten. Nach etwa drei Minuten des Studiums testete der Experimentator das Subjekt, indem er die Augen schloss und sich zufällig ausgewählten Zielen zuwandte. Dieses Test- und Lernverfahren wurde wiederholt, bis sich der Proband sicher fühlte, dass die Konfiguration gelernt worden war und der Experimentator zustimmte. und wende dich zufällig ausgewählten Zielen zu. Dieses Test- und Lernverfahren wurde wiederholt, bis sich der Proband sicher fühlte, dass die Konfiguration gelernt worden war und der Experimentator zustimmte. und wende dich zufällig ausgewählten Zielen zu. Dieses Test- und Lernverfahren wurde wiederholt, bis sich der Proband sicher fühlte, dass die Konfiguration gelernt worden war und der Experimentator zustimmte.

Das räumliche Wissen der Teilnehmer wurde an sechs verschiedenen Orten getestet. Eine gegebene Testposition und -orientierung wurde dem Probanden durch das Auftreten eines roten Zylinders und eines roten Pfeils in der Umgebung angezeigt. Die Teilnehmer wurden angewiesen, den Zylinder so lange zu bewegen, bis er grün wurde, und sich dann dem Pfeil zuzuwenden, bis er grün wurde. Wenn sowohl der Zylinder als auch der Pfeil grün waren, befanden sich die Teilnehmer in einer geeigneten Position. Als das Subjekt diese Position erreichte, wurden der Raum und die Objekte versteckt, so dass der Teilnehmer nur den Zylinder und den Pfeil auf einem schwarzen Hintergrund sah. Nachdem dem Teilnehmer mitgeteilt wurde, zu welchem Objekt er sich wenden soll, verschwanden Zylinder und Pfeil, und der Teilnehmer sah kurz den Namen des Zielobjekts. Insbesondere wurde den Probanden gesagt, sie sollten sich dem <zuwenden *Zielname*> ". Sobald der Teilnehmer angab, sich dem Objekt zugewandt zu haben, wurden der Drehwinkel, der Winkel der korrekten Reaktion und die mit dem Drehen zum Objekt verbundene Latenz aufgezeichnet. Der Zylinder und der Pfeil tauchten wieder auf und der Teilnehmer wandte sich wieder dem Pfeil zu, bis er wieder grün wurde. Dann wurde das Subjekt angewiesen, sich einem anderen Zielobjekt zu stellen. An jedem Ort absolvierte der Proband drei Versuche, indem er sich drei verschiedenen Zielobjekten im Raum zuwandte, wobei 18 Versuche pro Bedingung durchgeführt wurden. Nach Abschluss von drei Versuchen an einem bestimmten Testort wurde der Teilnehmer gebeten, sich dem Pfeil zuzuwenden, bis er grün wurde, bevor der Raum und die Objekte erneut angezeigt wurden, damit der Teilnehmer kein Feedback erhielt. Nachdem der Raum und die Objekte wieder gezeigt wurden, Der Zylinder und der Pfeil wurden zum nächsten Zielort bewegt. Die Probanden wurden ermutigt, sich nach Abschluss eines Testorts neu zu orientieren.

Um die Winkel der korrekten Antworten über Bedingungen hinweg zu vergleichen, wurden für jede Bedingung dieselben Versuche verwendet. Der Testort und die Zielorte waren unter allen drei Bedingungen analog, und die Ziele variierten zufällig in den Umgebungen. Die Studien wurden so konzipiert, dass die Disparität [Mai 2004] gleichmäßig im Bereich von 20 bis 180 verteilt war . Außerdem wurden die Testorte so positioniert, dass sie sich niemals einem Zielobjekt näher als 0,8 m zuwenden würden.

Um den Schwierigkeitsgrad der Aktualisierung der Ausrichtung in Bezug auf Objekte in der virtuellen Umgebung zu bewerten, wurden Latenzen und Fehler aufgezeichnet. Die Latenzen wurden ab dem Zeitpunkt der Identifizierung des Ziels gemessen, bis die Probanden angaben, ihre Drehbewegung abgeschlossen zu haben und dem Ziel zugewandt zu sein. Fehler ohne Vorzeichen wurden als absoluter Wert der Differenz in der anfänglichen Blickrichtung gemessen

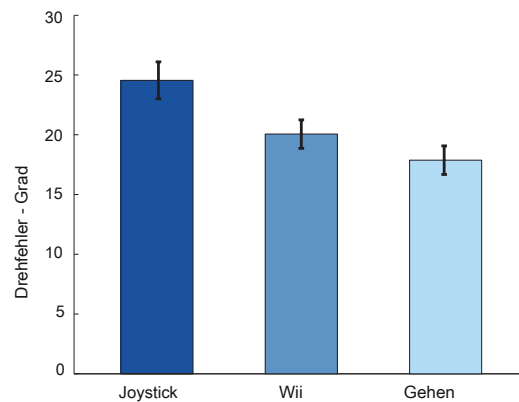


Abb. 4. Mittlerer Drehfehler für Joystick, Wii und Gehbedingungen. Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwerts an. Wie in Abschnitt 4.4 erläutert, hat der Zustand einen erheblichen Einfluss auf den Drehfehler.

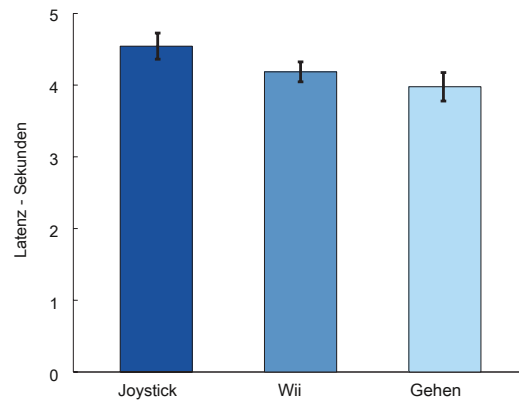


Abb. 5. Mittlere Latenz für Joystick, Wii und Gehbedingungen. Fehlerbalken geben den Standardfehler des Mittelwerts an. Wie in Abschnitt 4.4 erläutert, war die Bedingung für die Latenz nicht signifikant.

(in Richtung des Pfeils) abzüglich der richtigen Blickrichtung. Die Probanden zeigten dem Experimentator an, dass sie dem Ziel durch mündliche Anweisung zugewandt waren, und der Experimentator zeichnete ihre Zeit und ihre Rotationsposition auf. Die Zeit wurde vom Computer aufgezeichnet und die Drehposition wurde unter Verwendung des InterSense-Trackers aufgezeichnet. Die Probanden wurden ermutigt, so schnell wie möglich zu reagieren und dabei die Genauigkeit beizubehalten.

4.4 Ergebnisse

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen die mittleren Drehfehler und Latenzen der Probanden nach Fortbewegungsbedingungen in der virtuellen Umgebung. Wir führten eine Einweg-ANOVA mit wiederholten Messungen der Drehfehler mit den drei Bedingungen (Joystick, WIP-wii, Gehen) als Faktor innerhalb der Subjekte durch und fanden einen Haupteffekt der Bedingung $F(2, 22) = 7,4$, $p = .006$. Die Durchführung paarweiser Vergleiche unter Verwendung des Fisher-LSD-Tests ergab, dass sich der Joystick-Zustand signifikant vom Gehen unterschied. $p = .007$ und von WIP-Wii,

$p = .007$, aber dass sich der Gehzustand nicht wesentlich vom WIP-Wii-Zustand unterschied. Eine separate Analyse wurde durchgeführt, um festzustellen, ob sich die Reihenfolge der verschiedenen Testbedingungen auf die Drehfehler auswirkte, und die Ergebnisse zeigten keine Auswirkung der Reihenfolge. Die Leute machten weniger

Fehler, wenn sie die virtuelle Umgebung physisch oder mit WIP-Wii als mit dem Joystick erkundet haben. Die Teilnehmer zeigten unter den Bedingungen Gehen und WIP-Wii gleich gute Ergebnisse. Wir haben eine ähnliche Einweg-ANOVA mit wiederholten Messungen der Latenzen mit den drei Bedingungen durchgeführt, aber die Auswirkung der Bedingung war nicht signifikant. Eine separate Analyse bestätigte, dass es keine Auswirkung der Reihenfolge auf die Latenzen gab. Die Antwortzeiten für die Teilnehmer waren unter allen Bedingungen ungefähr gleich.

5. DISKUSSION

In diesem Artikel wird das „Gehen an Ort und Stelle“ auf einem Wii Fit Balance Board (WIP-Wii) vorgestellt, um Benutzern das freie Fortbewegen in einer virtuellen Umgebung zu ermöglichen. Ein Experiment vergleicht direkt die Joystick-Fortbewegung, unsere WIP-Wii-Methode und das normale Gehen. Wir haben gezeigt, dass die Fortbewegung des Joysticks zu einem höheren Drehfehler führt (in der Größenordnung von 5) - - 8 · Unterschied) als sowohl die Geh- als auch die WIP-Wii-Bedingungen. Auf diese Weise wird das räumliche Bewusstsein der Teilnehmer für eine virtuelle Umgebung durch ihre eigene physische Fortbewegung oder WIP-Wii gegenüber der Joystick-Fortbewegung erheblich verbessert. Noch wichtiger ist, dass unsere Ergebnisse zeigen, dass die räumliche Ausrichtung der Teilnehmer beim physischen Gehen und bei den WIP-Wii-Bedingungen in Bezug auf Drehfehler und Latenz ähnlich war. Diese Erkenntnis legt nahe, dass das Wii Fit Balance Board eine großartige, kostengünstige Alternative zur Erkundung einer virtuellen Umgebung ist.

Es ist wichtig zu beachten, dass unsere WIP-Wii-Methode einen Orientierungssensor verwendet. Die Verwendung eines Orientierungssensors ist jedoch erforderlich, um die Neigung, das Gieren und das Rollen des Benutzers zu aktualisieren. Orientierungssensoren werden üblicherweise bei HMDs verwendet. Wir haben diesen Sensor unter allen drei Bedingungen verwendet, um die Ausrichtung des Teilnehmers zu aktualisieren.

In der hier vorgestellten Arbeit untersuchen die Teilnehmer eine virtuelle Umgebung, die ungefähr so groß ist wie der Verfolgungsbereich unseres HMD-Systems. Unsere Motivation war es, die körperliche Fortbewegung direkt mit der WIP-Wii zu vergleichen. Ruddle and Lessels [2006, 2009] untersuchen die Bedeutung der physischen Fortbewegung für die Erkundung einer virtuellen Umgebung. Riecke et al. [2010] stellen fest, dass physische Rotation, aber keine Fortbewegung eine Schlüsselkomponente ist. Andere Arbeiten [Chance et al. 1998; Ruddle and Lessels 2006; Lathrop und Kaiser 2002] haben gezeigt, dass physisches Aufwachen besser ist als die Verwendung eines Joysticks. Wir stellten die Hypothese auf, dass die WIP-Wii-Methode in Bezug auf das räumliche Bewusstsein zwischen physischem Gehen und Joystick-Fortbewegung liegen würde. Die Überlegenheit von WIP und Wii gegenüber dem Joystick scheint darauf hinzudeuten, dass WIP dem Benutzer einige der propriozeptiven Hinweise für das Gehen bietet. Interessant, Wir haben keinen signifikanten Unterschied im räumlichen Bewusstsein der virtuellen Umgebung festgestellt, als die Umgebung zu Fuß oder mit der WIP-Wii erkundet wurde. Unsere Ergebnisse stimmen auch nicht mit einer früheren Implementierung von WIP überein, der von Feasel et al. [2008]. Ihr System ist ganz anders und verwendet Brustorientierungssensoren, um die Orientierung zu verfolgen und die Fersenpositionen für die Fortbewegung zu verfolgen, was sich möglicherweise unterschiedlich auf die räumliche Orientierung auswirkt.

Es gibt mehrere mögliche Gründe für diese Ergebnisse. Wie bereits erwähnt, verbindet unsere Arbeit eine Reihe früherer Arbeiten [Chance et al. 1998; Lathrop und Kaiser 2002; Ruddle and Lessels 2009; Riecke et al. 2010], was darauf hinweist, dass die Fortbewegung des Joysticks der Bewegung, in der physische Bewegung stattfindet, unterlegen ist. Diese Ergebnisse stimmen mit Arbeiten überein, die zeigen, dass Menschen Schwierigkeiten haben, Überschriften nur mit visuellen Reizen zu aktualisieren [Klatzky et al. 1998; Gramann et al. 2005], was möglicherweise auf zugrunde liegende neuronale Repräsentationen zurückzuführen ist [Gramann et al. 2010; Plank et al. 2010]. Durch physische Bewegung kann das sensorische System so vorbereitet werden, dass es leichter eine zugrunde liegende räumliche Darstellung annimmt, in der die Aufgabenleistung verbessert werden kann. Wenn die sensorische Grundierung für Leistungsunterschiede zwischen Joystick und körperlicher Bewegung verantwortlich ist, Es ist vielleicht weniger überraschend, dass WIP-Wii und Gehbedingungen eine gleichwertige Leistung zeigten, da die idiothetischen Hinweise auf Bewegung wahrscheinlich vom Sehen dominiert werden. Interessant ist, dass WIP-Wii solche Hinweise stimulieren kann. Ein Teilnehmer berichtete, dass die WIP-Wii-Bedingung „sehr anpassungsfähig schien. Ich habe nicht lange gebraucht, um den Dreh raus zu bekommen.“ Ein anderes Thema gab an, dass sich die WIP-Wii-Bedingung „so anfühlt, als würden Sie sich bewegen, weil sich die Füße bewegen“. Der Begriff der visuellen Dominanz über die körperliche Bewegung wurde bereits in weiten Teilen des „umgeleiteten Gehens“ ausgenutzt. Ich habe nicht lange gebraucht, um den Dreh raus zu bekommen.“ Ein anderes Thema gab an, dass sich die WIP-Wii-Bedingung „so anfühlt, als würden Sie sich bewegen, weil sich die Füße bewegen“. Der Begriff der visuellen Dominanz über die körperliche Bewegung wurde bereits in weiten Teilen des „umgeleiteten Gehens“ ausgenutzt. Ich habe nicht lange gebraucht, um den Dreh raus zu bekommen.“ Ein anderes Thema gab an, dass sich die WIP-Wii-Bedingung „so anfühlt, als würden Sie sich bewegen, weil sich die Füße bewegen“. Der Begriff der visuellen Dominanz über die physische Bewegung wurde bereits in weiten Teilen des „umgeleiteten Gehens“ ausgenutzt.

Literatur [Williams et al. 2006; Razzaque et al. 2001; Engel et al. 2008; Nitzsche et al. 2004; Steinicke et al. 2010; Xie et al. 2010]. Williams et al. [2006] skalieren Sie den Translationsgewinn des Gehens so, dass ein Schritt vorwärts im physischen Raum mehrere Schritte vorwärts im virtuellen Raum führt. Sie stellen keinen signifikanten Unterschied im räumlichen Bewusstsein fest, wenn der Translationsgewinn des Gehens im Vergleich zur normalen bipedalen Fortbewegung um zwei und zehn skaliert wird. Zusätzlich wurden Arbeiten durchgeführt [Razzaque et al. 2001; Engel et al. 2008; Nitzsche et al. 2004; Steinicke et al. 2010], die die virtuelle Umgebung unmerklich dreht, so dass die physische Fortbewegung des Benutzers in die Grenzen des Verfolgungssystems passt. Nochmal, Forscher sind in der Lage, die Zuordnung zwischen normalem physischem Gehen und visuellem Fluss erfolgreich so zu manipulieren, dass die räumliche Orientierung gefördert wird und der Benutzer die Möglichkeit erhält, einen virtuellen Raum zu erkunden, der größer ist als der Verfolgungsraum des HMD. Wir sollten jedoch nicht die Möglichkeit ausschließen, dass die WIP-Wii und der Gehzustand ähnlich durchgeführt worden sein könnten, da die Probanden die HMD-Leine im Gehzustand als störend empfanden. Ein Proband bemerkte, dass die Schnur manchmal etwas schwer wirkte. Die Klärung dieser Fragen ist das Thema der zukünftigen Arbeit. Wir sollten nicht die Möglichkeit ausschließen, dass die WIP-Wii und der Gehzustand ähnlich durchgeführt worden sein könnten, da die Probanden die HMD-Leine im Gehzustand als störend empfanden. Ein Proband bemerkte, dass die Schnur manchmal etwas schwer wirkte. Die Klärung dieser Fragen ist das Thema der zukünftigen Arbeit. Wir sollten nicht die Möglichkeit ausschließen, dass die WIP-Wii und der Gehzustand ähnlich durchgeführt worden sein könnten, da die Probanden die HMD-Leine im Gehzustand als störend empfanden. Ein Proband bemerkte, dass die Schnur manchmal etwas schwer wirkte. Die Klärung dieser Fragen ist das Thema der zukünftigen Arbeit.

Es gab einige Kritikpunkte an unserer WIP-Wii-Methode. Einem Teilnehmer fiel es im WIP-Wii-Zustand „schwer, kleine Bewegungen zu kontrollieren“. Ein paar Kommentare zeigten auch, dass das Wii Balance Board "ziemlich klein schien". Keiner der Probanden bewegte sich jedoch während des Experiments unbeabsichtigt vom Brett. Ein Proband trat absichtlich von der Tafel, um sich den verschiedenen Objekten in der Umgebung zuzuwenden. Bei der Beobachtung der Probanden, die das Experiment durchführten, stellten wir fest, dass die Füße der Probanden manchmal auf Ecken des Bretts landeten. Sie schienen sich schnell zu korrigieren und ihre Füße in die Mitte des Bretts zu bewegen. Interessanterweise gab es nicht viele Fehlritte. Etwas mehr als die Hälfte der Teilnehmer zog ihre Schuhe für die WIP-Wii-Bedingung aus. Sie wurden angewiesen, dies zu tun, wenn sie dazu neigten. Eine Hypothese für die Fähigkeit der Probanden, sich frei zu drehen und auf diesem relativ kleinen Brett zu laufen, ohne ungewollt vom Brett zu treten, könnte sein, dass die Probanden bereits Erfahrung mit dem Wii-Fit Balance Board hatten. Allerdings waren nur zwei der zwölf Probanden jemals auf einem Wii-Fit Balance Board.

Wir glauben, dass die WIP-Wii-Methode eine praktikable Methode zur Erkundung einer großen virtuellen Umgebung sein könnte, dh einer Umgebung, die aufgrund der Grenzen des Tracking-Systems nicht einfach zu Fuß erkundet werden kann. Andere Methoden zur Untersuchung großer virtueller Umgebungen [Razzaque et al. 2001; Engel et al. 2008; Nitzsche et al. 2004; Steinicke et al. 2010; Interrante et al. 2007; Xie et al. 2010; Usuh et al. 1999; Fernandes et al. 2003; Schwaiger et al. 2007] leiden unter relativ hohen Kosten und setzen Technologien ein, die der Öffentlichkeit nicht ohne weiteres zur Verfügung stehen. Im Gegensatz dazu ist das Wii Fit Balance Board für Verbraucher leicht verfügbar und kostengünstig. Daher planen wir, diese Idee in Zukunft zu untersuchen.

Danksagung

Wir danken Aysu Erdemir für ihre zahlreichen Konvertierungen zu den Statistiken in diesem Artikel. Wir danken auch den Rezensenten für ihr konstruktives Feedback.

VERWEISE

- B. AKKER, NH, W. ERKHOVEN, PJ, UND P. ASSENIER, PO 1999. Die Auswirkungen von propriozeptivem und visuellem Feedback auf die geografische Ausrichtung in virtuellen Umgebungen. *Präsenz: Teleoper. Virtuelle Umgebung*, 8, 1, 36–53.
- 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. *Int. J. Hum.-Comput. Interagieren*, 8, 1, 49–72.
- ACM Transactions on Applied Perception, 8, Nr. 3, Artikel 19, Erscheinungsdatum: August 2011.

- E. NGEL, D., C. URIO, C., T. CHEANG, L., M. OHLER, B., UND B. ÜLTHOFF, HH 2008. Ein psychophysisch kalibrierter Controller zum Navigieren durch große Umgebungen auf engstem Raum. Im *Vorträge des ACM-Symposiums zu Virtual Reality-Software und -Technologie (VRST'08)*. ACM, New York, 157–164.
- F. STAFFELEI, J., W. HITTON, MC, UND W. ENDE, JD 2008. Llc-m-Wip: Laufende Ortung mit geringer Latenz und kontinuierlicher Bewegung. Im *Verfahren des IEEE-Symposiums für 3D-Benutzeroberflächen (3DUI'08)*. IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, 97–104.
- F. ERNANDES, KJ, R. AJA, V., UND E. JA, J. 2003. Cybersphere: das vollständig immersive sphärische Projektionssystem. *Comm. ACM* 46, 9, 141–146.
- G. RAMANN, K., M. ÜLLER, HJ, E. ICK, E.-M., UND S. CHÖNEBECK, B. 2005. Nachweis trennbarer räumlicher Darstellungen in einer virtuellen Navigationsaufgabe. *J. Exper. Psych. Summen. Percep. Ausführen*. 31, 1199–1223.
- G. RAMANN, K., O. NTON, J., R. ICCOBON, D., M. UELLER, HJ, B. ARDINS, S., UND M. AKEIG, S. 2010. Dynamik des menschlichen Gehirns bei gleichzeitiger Verwendung egozentrischer und allozentrischer Referenzrahmen während der Navigation. *J. Cogn. Neurosci.* 22, 12, 2836–2849.
- ICH NTERFRANTE, V., R. IES, B., UND EIN NDERSON, L. 2007. Sieben Liga-Stiefel: Eine neue Metapher für eine verbesserte Fortbewegung durch mittelgroße immersive virtuelle Umgebungen. Im *Vorträge des IEEE-Symposiums zu 3D-Benutzeroberflächen*. 167–170.
- 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. *Psych. Sci.* 9, 4, 293–298.
- 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.
- L. ATHROP, WB UND K. AISER, MK 2005. Erwerb räumlichen Wissens auf einfachen und komplexen Wegen mit immersiven und nicht immersiven Schnittstellen. *Präsenz* 17, 3, 249–263.
- M. AY, M. 2004. Imaginale Perspektivenwechsel in erinnerten Umgebungen: Transformation versus Interferenzkonten. *Cogn. Psych.* 48, 163–206.
- N. ITZSCHE, N., H. ANEBECK, U., UND S. CHMIDT, G. 2004. Bewegungskomprimierung für telepräsentes Gehen in großen Zielumgebungen. *Präsenz* 13, 1, 44–60.
- P. AUSCH, R., P. ROFFITT, D., UND W. ILLIAMS, B. 1995. Quantifizierung des Eintauchens in die virtuelle Realität. Im *Verfahren der ACM / Internationale Konferenz für Computergrafik und interaktive Techniken (SIGGRAPH'95)*. 399–400.
- P. AUSCH, R., P. ROFFITT, D., UND W. ILLIAMS, G. 1997. Quantifizierung des Eintauchens in die virtuelle Realität. Im *Verfahren des 24. Jahres Konferenz über Computergrafik und interaktive Techniken (SIGGRAPH'97)*. ACM Press / Addison-Wesley, New York, 13–18.
- P. ERUCH, 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, Hrsg., Springer, Berlin.
- P. LANK, M., M. ÜLLER, HJ, O. NTON, J., M. AKEIG, S., UND G. RAMANN, K. 2010. Das menschliche EEG korreliert mit der räumlichen Navigation innerhalb egozentrischer und allozentrischer Referenzrahmen. Im *Räumliche Erkenntnis*. 191–206.
- P. LUMERT, JM, K. EARNEY, JK, UND C. REMER, JF 2004. Die Wahrnehmung von Lückenleistungen durch Kinder: Radfahren über verkehrsreiche Kreuzungen in einer immersiven virtuellen Umgebung. *Behav. Res. Methoden, Instrum. Comput.* 75, 1243–1253.
- R. AZZAGUE, S., K. OHN, Z., UND W. HITTON, MC 2001. Umgeleitetes Gehen. *Eurographics Kurzpräsentation*.
- R. IECKE, BE, B. ODENHEIMER, B., M. C. N. AMARA, TP, W. ILLIAMS, B., P. ENG, P., UND F. EUEREISSEN, D. 2010. Müssen wir für eine effektive Virtual-Reality-Navigation gehen? Physische Rotationen allein können ausreichen. Im *Räumliche Erkenntnis*. 234–247.
- R. IESER, JJ UND P. ICK, HL 2007. Mit Fortbewegung die räumliche Orientierung aktualisieren: Was ändert sich mit Lernen und Entwicklung? Im *Der aufkommende räumliche Geist*, J. Plumert und J. Spenser Eds., Oxford University Press, 77–103.
- R. UDDLE, RA UND L. ESSELS, S. 2006. Für eine effiziente Navigationssuche benötigen Menschen volle körperliche Bewegung, aber keine reichhaltige visuelle Szene. *Psych. Sci.* 6, 460–465.
- R. UDDLE, RA UND L. ESSELS, S. 2009. Die Vorteile der Verwendung einer Laufschnittstelle zum Navigieren in virtuellen Umgebungen. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interagieren*. 16, 1, 1–18.
- R. UDDLE, RA, P. AYNE, SJ, UND J. EISEN, DM 1999. Navigieren in virtuellen Umgebungen in großem Maßstab: Welche Unterschiede treten zwischen am Helm montierten Displays und Desktop-Displays auf? *Präsenz* 8, 2, 157–168.
- S. CHWAIGER, M., T. HUMMEL, T., UND U. LBRICH, H. 2007. Cyberwalk: Ein fortschrittlicher Prototyp einer Belt-Array-Plattform. Im *Verfahren des IEEE International Workshop zu haptischen, akustischen und visuellen Umgebungen und Spielen (HAVE'07)*. 50–55.
- S. SPÄTER, M., U. SOH, M., UND S. TEED, A. 1995. Schritte unternehmen: Der Einfluss einer Gehtechnik auf die Präsenz in der virtuellen Realität. *ACM Trans. Summen. Interagieren*. 2, 3, 201–219.
- S. TEINICKE, F., B. RUDER, G., J. ERALD, J., F. RENZ, H., UND L. APPE, M. 2010. Schätzung der Erkennungsschwellen für umgeleitete Gehtechniken. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* 16, 17–27.
- S. UMA, E., B. ABU, S., UND H. ODGES, L. 2007. Vergleich von Reisetechiken in einer komplexen 3D-Umgebung auf mehreren Ebenen. Im *Verfahren des IEEE-Symposiums für 3D-Benutzeroberflächen*. 149–155.

- T. EMPELMAN, J.N., D. ENBROOK, P.S., UND S. IBERT, L.E. 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 *Vorträge der ACM / Internationale Konferenz für Computergrafik und interaktive Techniken (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. ARTENBERG, F., M. AY, M., UND P. ÉRUCH, S. 1998. Räumliche Orientierung in virtuellen Umgebungen: Hintergrundüberlegungen und Experimente. Im *Spatial Cognition, ein interdisziplinärer Ansatz zur Darstellung und Verarbeitung von räumlichem Wissen*. SpringerVerlag, Berlin, 469–489.
- W. ENDE, J.D., W. HITTON, MC, UND J. R., FPB 2010. Gud Wip: Gang-Verständnis-gesteuertes Walking-in-Place. Im *Verfahren von das IEEE Annual International Symposium on Virtual Reality (VR)*. 51–58.
- W. ILLIAMS, B., N. ARASIMHAM, G., M. C. N. AMARA, TP, C. ARR, TH, R. IESER, JJ, UND B. ODENHEIMER, B. 2006. Aktualisieren der Ausrichtung in großen virtuellen Umgebungen mithilfe eines skalierten Translationsgewinns. Im *Vorträge des 3. Symposiums zur angewandten Wahrnehmung in Grafik und Visualisierung (APGV'06)*. ACM Press, New York, 21–28.
- W. ILLIAMS, B., N. ARASIMHAM, G., W. ESTERMAN, C., R. IESER, JJ, UND B. ODENHEIMER, B. 2007. Funktionale Ähnlichkeiten in räumlichen Darstellungen zwischen realen und virtuellen Umgebungen. *ACM Trans. Appl. Wahrnehmen*. 4, 2.
- X. IE, X., L. IM, Q., W. U, H., N. ARASIMHAM, G., M. C. N. AMARA, TP, R. IESER, J., UND B. ODENHEIMER, B. 2010. Ein System zur Erkundung großer virtueller Umgebungen, das skalierten Translationsgewinn und Interventionen kombiniert. Im *Vorträge des 7. Symposiums zur angewandten Wahrnehmung in Grafik und Visualisierung (APGV'10)*. ACM, New York, 65–72.

Eingegangen im April 2011; akzeptiert Juli 2011