

Umgeleitetes Gehen

Sharif Razzaque, Zachariah Kohn und Mary C. Whitton

Institut für Informatik, Universität von North Carolina, Chapel Hill, North Carolina, USA

{sharif, kohn, whitton}@cs.unc.edu

Abstrakt

Redirected Walking, eine neue interaktive Fortbewegungstechnik für virtuelle Umgebungen (VEs), erfasst die Vorteile des realen Gehens und erweitert gleichzeitig die mögliche Größe des VE. Reales Gehen ist zwar natürlich und erzeugt ein hohes subjektives Gefühl der Präsenz, beschränkt virtuelle Umgebungen jedoch auf die Größe des verfolgten Raums. Redirected Walking behebt diese Einschränkung, indem die virtuelle Szene interaktiv und unmerklich um den Benutzer gedreht wird. Die Rotation bewirkt, dass der Benutzer kontinuierlich zur am weitesten entfernten Wand des Labors geht, ohne die Rotation zu bemerken. Wir haben die Technik mithilfe von Stereografiken und räumlichem 3D-Audio implementiert. Beobachtungen während einer Pilotstudie legen nahe, dass die Technik funktioniert: Umgeleitetes Gehen bewirkt, dass Menschen ihre tatsächliche Laufrichtung ändern, ohne es zu bemerken, ermöglicht größere VEs,

1. Einleitung

Fortbewegung ist eine wichtige Interaktionstechnik in virtuellen Umgebungen. Echtes Gehen ist in Bezug auf Präsenz, Benutzerfreundlichkeit und Natürlichkeit besser als Fliegen oder Gehen an Ort und Stelle.

Eine ernsthafte Einschränkung des realen Gehens besteht jedoch darin, dass Benutzer sich nicht durch virtuelle Umgebungen bewegen können, die größer als der Arbeitsbereich des Trackers sind. Der Benutzer verliert die Verfolgung und / oder stößt auf eine Wand des Labors. Das Ziel der Technik, die wir Redirected Walking nennen, ist es, Benutzern zu ermöglichen, wirklich durch sehr große virtuelle Räume zu gehen.

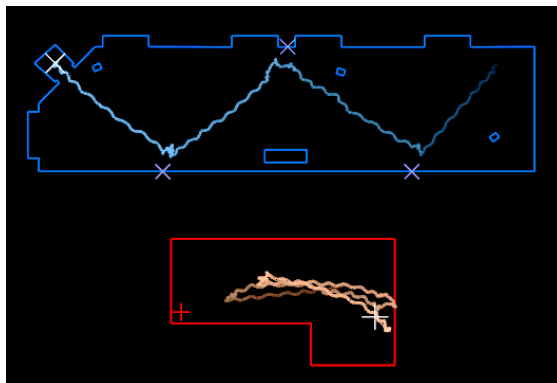
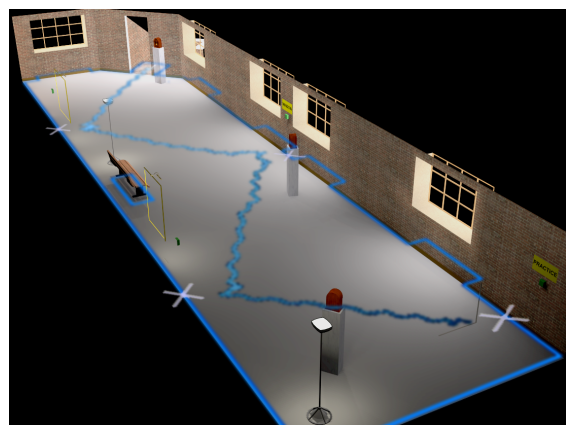


Abbildung 1: Draufsichten auf den Pfad, den der Benutzer in der virtuellen Umgebung (oben in blau) und im Labor (unten in rot) eingeschlagen hat. Beachten Sie, wie der Benutzer im Zick-Zack-Muster durch das VE ging, während er im Tracker-Bereich hin und her ging. Der Trackerraum und VE sind maßstabsgetreu gezeichnet. Kreuze bezeichnen Wegpunkte.

Die Technik ist von der Tatsache inspiriert, dass eine Person, die eine Augenbinde trägt und angewiesen ist, in einer geraden Linie zu gehen, stattdessen unwissentlich entlang eines Bogens geht. 1994 Michael Moshell und Dan Mapes an der University of Central Florida². Es wurde versucht, VE-Benutzer dazu zu bringen, unwissentlich entlang eines Bogens zu gehen, während sie dachten, sie gehen gerade. Die Krankheit des Simulators und Einschränkungen in VE-Systemen, insbesondere in der Trackertechnologie, haben sie vereitelt. Allgemeine Verbesserungen an VE-Systemen und die Entwicklung genauer Weitbereichs-Tracker mit geringer Latenz lassen darauf schließen, dass Redirected Walking jetzt möglich ist. Beobachtungen aus unserer Pilotbenutzerstudie bestätigen diese Machbarkeit zunächst: Umgeleitetes Gehen führt dazu, dass Menschen ihre tatsächliche Gehrichtung unbemerkt ändern, größere VEs zulassen und keine inakzeptable Simulatorkrankheit verursachen.



Figur 2: Der Pfad des Benutzers, der der virtuellen Umgebung überlagert ist.

• Die Eurographics Association 2001.

2. Die Technik

Beim umgeleiteten Gehen wird die virtuelle Szene interaktiv um den Benutzer gedreht, sodass der Benutzer kontinuierlich zur entferntesten "Wand" des Verfolgungsbereichs läuft. Der Benutzer bemerkt diese Drehung nicht, da der Algorithmus die Einschränkungen menschlicher Wahrnehmungsmechanismen zum Erfassen von Position, Orientierung und Bewegung ausnutzt. Das Ausmaß der injizierten Rotationsverzerrung ist eine Funktion der tatsächlichen Ausrichtung und Position des Benutzers im Labor, der Lineargeschwindigkeit und der Winkelgeschwindigkeit.

Im Extremfall kann Redirected Walking dazu führen, dass der Benutzer im Labor in einem großen Kreis läuft, während er glaubt, in der virtuellen Umgebung in einer geraden Linie zu gehen. Theoretisch könnten wir, wenn wir genug Trackerfläche für den gesamten Kreis hätten, eine virtuelle Umgebung von unendlichem Ausmaß präsentieren. Bei einem Tracker mit begrenzter Größe gibt es einen Kompromiss: Je mehr Rotationsverzerrungen (was dazu führt, dass der Benutzer in engeren Bögen läuft), desto größer ist die virtuelle Umgebung, die wir präsentieren können. Je stärker die Rotationsverzerrung ist, desto wahrscheinlicher ist es jedoch, dass der Benutzer die Rotation erkennt.

Um Redirected Walking für Tracker mit begrenztem Gebiet nutzbar zu machen, können wir den oben genannten Kompromiss umgehen, indem wir den Benutzer zwingen, sich an strategisch platzierten Wegpunkten in der VE umzusehen. Während sich die Benutzerin dreht, um sich umzusehen, können wir mit mehr Rotationsverzerrung davonkommen. Das VE wird so gedreht, dass eine Richtung, die zuvor außerhalb der Reichweite des Trackers lag, jetzt sicher innerhalb des verfolgten Bereichs liegt. Der Abstand zwischen benachbarten Wegpunkten muss kleiner sein als die Länge des Verfolgungsbereichs. Die Abbildungen 1 und 2 veranschaulichen die Wegpunkte. Während die Notwendigkeit von Wegpunkten die VE stark einschränkt, glauben wir, dass sich viele Aufgaben, wie die unten diskutierte Feuerwehübung, natürlich für Wegpunkte eignen.

3. Theorie

Menschen verlassen sich in erster Linie auf vestibuläre, visuelle und Hinweise für auditorisch Gleichgewicht und Orientierung³. Menschen verwenden diese Sinne auch, um zu bestimmen, ob sie sich selbst bewegen (Selbstbewegung) oder ob sich die Objekte um sie herum bewegen (Außenbewegung). Frühere Untersuchungen legen nahe, dass das konsistente Halten mehrerer Cues die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass der Benutzer Rotation als Selbstbewegung im Gegensatz zu externer Bewegung wahrnimmt⁴. Wenn Redirected Walking die Konsistenz zwischen visuellen, akustischen und vestibulären Hinweisen beibehält, sollte der Benutzer nicht spüren, wie sich die Welt willkürlich um sie herum bewegt. Ziel ist es, die Wahrscheinlichkeit zu maximieren, dass die gesamte vom Benutzer wahrgenommene Bewegung Selbstbewegung ist.

Die halbkreisförmigen Kanäle jedes Ohrs wirken ungefähr als drei orthogonale Rotationsgeschwindigkeits-Gyros; Sie erfassen die hochfrequenten Komponenten der Winkelbewegung einer Person. Das visuelle und das auditive System erfassen niederfrequente Komponenten. Da in unserem VE-System keine Geräte verwendet werden, die vestibuläre Signale induzieren, wie z. B. eine Bewegungsplattform, haben wir vermieden, hochfrequente Rotationsverzerrungen zu injizieren.

Selbst im Stillstand dreht die Benutzerin unwissentlich ihren Kopf und ihren Oberkörper mit der virtuellen Szene. Wir stellen die Hypothese auf

Hierfür sind die eigenen Ausgleichsmechanismen des Benutzers verantwortlich⁵.

Beim Gehen versucht der Benutzer beim Versuch, auf einer virtuellen Flugbahn zu bleiben, die er als gerade wahrnimmt, unabsichtlich in Richtung der induzierten Rotation. An den Wegpunkten bewirkt das schnelle Drehen beim Umsehen eine erhebliche vestibuläre Stimulation. Vor diesem hohen Hintergrund ist eine zusätzliche vestibuläre Stimulation, die beim Gehen bemerkt wird, nicht wahrnehmbar. Daher bemerkt der Benutzer die erhöhte Rotationsverzerrung, die wir injizieren, während er sich umschaute, nicht.

Damit Redirected Walking erfolgreich ist, muss sich der Benutzer registrieren und auf die ständig aktualisierte Ausrichtung des VE reagieren, ohne sie als extern induziert zu erkennen. Darüber hinaus darf die Rotationsverzerrung die Simulatorkrankheit des Benutzers nicht erhöhen. Da die Technik die visuellen, akustischen und vestibulären Hinweise konsistent hält, sollte die zusätzliche Drehung dazu führen, dass Benutzer die Richtung ändern, jedoch unbemerkt bleiben. Da angenommen wird, dass die Krankheit des Simulators durch Diskrepanzen zwischen visuellen und vestibulären Hinweisen verursacht wird⁶. Wir glauben, dass Redirected Walking nicht zu einer Zunahme der Simulatorkrankheit führt. Wir haben eine Pilotstudie durchgeführt, um die Machbarkeit der Technik zu testen.

4. Pilotbenutzerstudie

Wir untersuchten die Realisierbarkeit der Redirected-Walking-Technik anhand einer Beobachtungsstudie mit 11 Probanden und einer Pilotstudie. Insbesondere wollten wir wissen, ob wir eine ausreichende Rotation induzieren können, um Benutzer zu drehen und große VEs zu ermöglichen, während die Rotationsverzerrung so gering gehalten wird, dass Benutzer die Verzerrung weder bemerken noch eine Zunahme der Simulatorkrankheit erleiden. Wir haben festgestellt, dass Redirected Walking diese Kriterien erfüllt. Die Details und quantitativen Daten aus der Anwenderstudie werden als technischer Bericht dargestellt⁸.

4.1 Aufgabe.

Die Aufgabe war eine simulierte Feuerwehübung. Die Probanden trugen ein am Kopf montiertes Display mit Stereokopfhörern, auf dem die visuellen Elemente und das räumliche Audio dargestellt wurden. Die Probanden wurden in einen virtuellen Raum getaucht, der ungefähr doppelt so groß war wie der Trackerbereich. Selbst in unserem großen, 4 x 10 m großen Verfolgungsbereich kann Redirected Walking den Benutzer nicht unmerklich dazu bringen, in einem vollständigen Kreis zu laufen. Daher haben wir Wegpunkte genutzt, um die Größe unserer virtuellen Umgebung zu erhöhen.

Vier an den virtuellen Wänden angebrachte Knöpfe dienten als Wegpunkte. Die Probanden wurden gebeten, die virtuellen Tasten der Reihe nach mit einem verfolgten Handcontroller zu drücken. Jede Taste löste eine akustische und / oder visuelle Reaktion im Zusammenhang mit dem Brandschutzszenario aus: 1) Üben, 2) Alarm auslösen, 3) Fenster schließen und 4) das Feuerlöschsystem aktivieren.

4.2 Pfad in der virtuellen Umgebung.

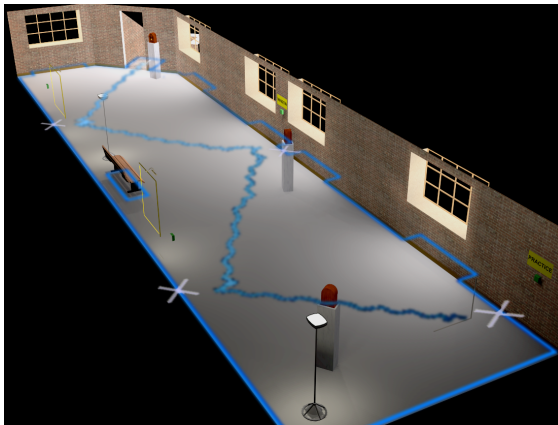
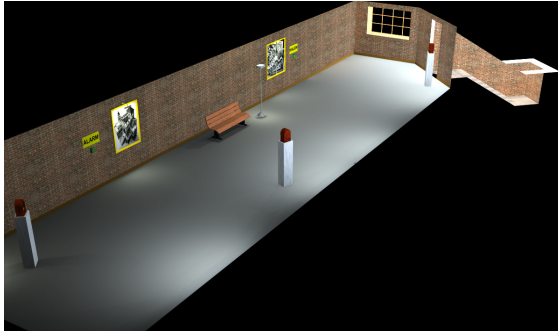
Die Tasten befanden sich sowohl im virtuellen als auch im realen Raum in einem Abstand von acht Metern. Die Teilnehmer mussten wirklich laufen, um zwischen ihnen zu reisen. Nachdem alle vier Tasten gedrückt worden waren, wurden die Probanden angewiesen, den virtuellen Raum durch eine Tür zu verlassen. Der Pfad führte das Motiv im Zickzackmuster durch den virtuellen Raum. Die Probanden mussten an jedem Wegpunkt anhalten, um die Knöpfe zu drücken. Die Probanden wurden angewiesen, ruhig zu gehen. Sie

⁵ Die Eurographics Association 2001.

wurden angewiesen, aber nicht ziellos durch den Raum zu wandern um den nächsten Knopf zu finden, bevor Sie darauf zugehen.

4.3 Weg im Labor.

Als sich das Motiv drehte, um die nächste Schaltfläche zu sehen, haben wir sie eingefügt große Verzerrungen durch Skalierung der Benutzerrotation



Figur 3: Zwei Ansichten der virtuellen Umgebung. Der Benutzer drückte die grünen Knöpfe unter den vier gelben Schildern an den Wänden. In der unteren Ansicht wird der Pfad eines Benutzers überlagert. Die Wegpunkte sind mit weißen Kreuzen gekennzeichnet.



Figur 4: Die Ansicht eines Benutzers im Headset, während er auf die Schaltfläche zugeht, um die Fenster zu schließen. Im Vordergrund steht ein antikes Radio, mit dem aufgezeichnete Anweisungen präsentiert werden.

• Die Eurographics Association 2001.

Bewertung. Nachdem sich das Motiv gedreht hatte, war die nächste virtuelle Schaltfläche fast an der äußersten Wand des Labors aufgereiht. Jede verbleibende kleine Fehlausrichtung wurde dann nachgeholt

Das Subjekt begann zu laufen, indem es eine Rotationsverzerrung anwendete proportional zur Gehgeschwindigkeit des Probanden. Dies ergab die bogenförmige Pfade im unteren Teil von Abbildung 1.



Abbildung 5: Die Ansicht eines Benutzers im Headset, während er auf die Schaltfläche zugeht, um den Alarm auszulösen.

4.4 Berechnung der Rotationsverzerrung.

Unser Algorithmus verwendete drei separate Komponenten der Rotationsverzerrung. Während der Entwicklung stellten wir fest, dass wir die virtuelle Szene selbst im Stillstand des Benutzers langsam drehen und den Benutzer unabsichtlich in die gleiche Richtung drehen konnten, ohne die Verzerrung zu bemerken. Aus diesem Grund haben wir eine kleine Grundlinie konstanter Rotationsverzerrung injiziert, selbst wenn der Benutzer still stand. Zweitens haben wir eine Rotationskomponente verwendet, die sich auf die Gehgeschwindigkeit des Benutzers bezieht. Drittens, als die Benutzerin sich selbst drehte, eine Bewegung mit höherer Frequenz, injizierten wir eine zusätzliche Drehung proportional zur Winkelgeschwindigkeit der Benutzerin.

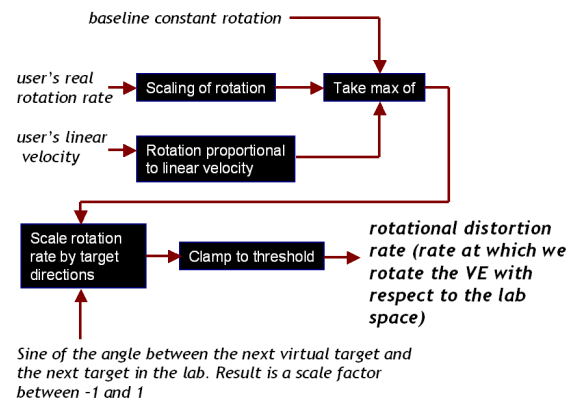


Abbildung 6: Der Algorithmus zur Berechnung der Rotationsverzerrungsrate

Die Rotationsverzerrung, die wir in einen beliebigen Rahmen injiziert haben, war das Maximum der oben genannten drei Komponenten: konstante Rotation, Rotation proportional zur Lineargeschwindigkeit des Benutzers und Rotation proportional zur Winkelgeschwindigkeit des Benutzers.

Wir haben diese Verzerrungsrate dann um eine "Richtung" skaliert Koeffizient. "Der Richtungskoeffizient sagte uns, wie viel und In welche Richtung mussten wir den Benutzer lenken? Dies Der Koeffizient wurde dynamisch berechnet, indem der berechnet wurde Sinus des Winkels zwischen der Richtung des Benutzers in der VE und die Richtung, die wir von ihr im Labor wollten. Wie In der Studie umgesetzt, war die gewünschte Richtung die direkter Weg zum nächsten Wegpunkt. Zum Schluss haben wir die verglichen skalierte kombinierte Rate auf einen Schwellenwert für nicht wahrnehmbar Winkelverzerrung. Wenn die Verzerrungsrate die überschreitet Schwellenwert wurde es auf den Schwellenwert gekürzt. Das Schwelle wurde so eingestellt, dass die Rotationen nicht wahrnehmbar waren Alle unsere Algorithmus-Tester.

4.5. Hardware.

Für diese Studie trugen die Probanden einen Virtual-Research V8-Kopf montiertes Display mit einem Sichtfeld von 60 Grad Diagonale und ein Seitenverhältnis von 4: 3. Ein Schleier hinderte die Probanden daran das Labor sehen. Es wurden visuelle Stereobilder erzeugt bei 30 Hz mit einer IR2-Grafikpipe und einem R12000 Prozessor eines SGI Onyx2 Reality Monsters. Ein Brauch optischer Weitbereichs-Tracker 78 bereitgestellte Position und Orientierung des Kopfes und der rechten Hand des Benutzers bei 70 Hz. Ende zu Ende Latenz, einschließlich Tracker-Filterung, Netzwerkverzögerungen und Die Bilderzeugung wurde bei 50 bis 115 ms gemessen. Räumlich Audio wurde von einer Aureal AU8830A2 A3D 2.0 erzeugt Prozessor-Soundkarte in einem Dell-PC. Sie wurden vorgestellt durch Sennheiser HD250 II versiegelt, zirkumnaural Kopfhörer.



Abbildung 7: Ein Benutzer, der das HMD und den Wide Area Tracker trägt

5. Beobachtungen

5.1 Raumgröße und Gehrichtung.

Die Probanden waren mit unserem Gebäude nicht vertraut und sahen das Labor nicht, bevor sie die virtuelle Umgebung betraten. Alle waren überrascht, als sie das Headset abnahmen

sah die tatsächliche Größe des Labors. Alle Probanden berichteten, dass die Die virtuelle Umgebung war größer als der Laborraum. Themen waren auch überrascht zu erfahren, dass sie zurückgegangen waren und zwischen den Enden des Labors und nicht im Zickzack durch das Labor.

5.2. Klang.

Die Konsistenz der akustischen und visuellen Hinweise macht es mehr wahrscheinlich wird das Gehirn die Rotation als Selbst- interpretieren Bewegung. Aus diesem Grund glauben wir an einen vollständigen 3D-Raumklang Modell als wichtiger Bestandteil eines VE mit Umgeleitetes Gehen.

Die Geräusche waren sowohl inhaltlich als auch quellmäßig plausibel Standort. Wir haben uns auch zum Ziel gesetzt, den Sound zu eliminieren In Usch 1999 gemeldete Einbrüche. Diese waren verursacht durch das Bewusstsein für Laborgeräusche und durch Anweisungen von einer körperlosen (Experimentator-) Stimme kommen.

Zirkumaurale Kopfhörer blockierten Umgebungs-laborgeräusche und lieferte Sounds an den Benutzer. Das Soundmodell enthalten plausible Umgebungsgeräusche kommen von plausibel Standorte; Diese helfen, Laborgeräusche zu übertönen. Experimentator Anweisungen wurden aufgezeichnet und in der geliefert Kopfhörer. Die offensichtlichen Quellen der Anweisungen waren die Radios im virtuellen Raum.

Unsere Beobachtungen über die Vorteile von Schall kamen nicht von Benutzerkommentare, sondern aufgrund fehlender Kommentare zu die auditive Komponente ihrer virtuellen Erfahrung. Keiner der 11 Probanden berichtete von Hörgeräuschen aus dem Labor oder schallbedingten Unterbrechungen der Anwesenheit.

5.3 Anforderung an die Trackergröße.

Wir haben eine noch nicht quantifizierte Beziehung zwischen der Größe des Tracker-Bereichs, der Größe der virtuellen Umgebung, der Aufgabe und der erfolgreichen Anwendung von Redirected Walking gesehen. In einer frühen Testphase haben wir einen engeren verfolgten Raum (3 x 12 m) verwendet, und kein Tester hat die Feuerwehübung erfolgreich abgeschlossen. Die Technik schlug entweder fehl, weil die Tester in die realen Wände gingen, wenn wir niedrige Rotationsverzerrungsraten verwendeten, oder weil sie sich der Rotationen bewusst waren. Wenn ein Meter zur Breite des verfolgten Bereichs hinzugefügt wurde, konnte fast jeder Tester die Aufgabe erledigen, ohne die Rotationsverzerrung zu bemerken. Selbst eine bescheidene Vergrößerung des verfolgten Bereichs ermöglichte es uns, Redirected Walking erfolgreich zu verwenden, um eine viel größere virtuelle Umgebung darzustellen.

5.4 Fehler vermeiden.

Während der Entwicklungsphase des Algorithmus befanden sich die Tester gelegentlich auf Pfaden, die sie aufgrund von Trackerfehlern oder verstimmten Parametern aus dem Trackerbereich oder in eine Laborwand führten. Wir haben gelernt, dass wir die Benutzerin in diesem Fall für einen Moment so ablenken können, dass sie die Aufgabe erledigen kann, ohne gegen Wände zu rennen. Als der Benutzer gegen eine (reale) Wand rennen wollte, spielten wir Anweisungen aus dem virtuellen Radio ab und sagten ihr, sie solle aufhören zu gehen und dann nach links und rechts schauen. Als die Benutzerin den Kopf drehte, hatte der Algorithmus die Möglichkeit, die virtuelle Szene so zu drehen, dass die Fahrtrichtung in der virtuellen Welt innerhalb des verfolgten Bereichs lag. Der Benutzer nahm dann die Aufgabe wieder auf. Zu unserer

Zufriedenheit berichteten die Tester, dass sie anhielten und dann weiter in die gleiche Richtung gingen, obwohl sie sich im Labor tatsächlich um 90 Grad oder mehr drehten!

6. Vergleich mit anderen Techniken

Neben dem Fliegen⁹ zu Fuß an Ort und Stelle^{10 11} Beim umgeleiteten Gehen gibt es mehrere andere Techniken, mit denen Benutzer VEs erkunden können, die größer als der verfolgte Raum sind. Unter diesen sind Einräder¹² und Fahrräder¹³ ein- und mehrachsige Laufbänder^{13 14 15 16 17}, und lehrende Gesten^{18 19}.

Jede dieser Methoden hat ihre eigenen Vor- und Nachteile. Echtes Gehen bietet multisensorische Hinweise: visuell, vestibulär und propriozeptiv²⁰. Laufbänder bieten realistische propriozeptive Hinweise zum Gehen. Sie brechen jedoch die Bewegung des Benutzers ab (wie das Gehen auf rutschigem Eis) und liefern daher möglicherweise keine vestibulären Hinweise¹¹.

Darüber hinaus sind einachsige Laufbänder desorientiert, während der Benutzer den VE dreht¹³. Lehngesten sind mechanisch einfach und liefern einige vestibuläre Hinweise, aber nicht die propriozeptiven Hinweise des Gehens.

Wir glauben, dass Redirected Walking dem Benutzer konsistente und realistische visuelle, vestibuläre und propriozeptive Informationen liefern kann. Zu seinem Nachteil erfordert das umgeleitete Gehen einen größeren Trackerraum als jede andere Technik. Entweder muss der verfolgte Raum viel größer sein, damit der Benutzer in einem vollen Kreis laufen kann, oder es erfordert, dass die VE vordefinierte Wegpunkte hat. Umgeleitetes Gehen kann auch kein unebenes oder hügeliges Gelände darstellen, ebenso wie einige der kardanischnen Laufbänder¹⁶.

7. Zukünftige Arbeit

Redirected Walking hat Potenzial. Wir werden eine formale Studie durchführen, um die Wirksamkeit der Technik zu beweisen. Redirected Walking kann sowohl abgestimmt als auch erweitert werden. Wir spekulieren, dass Redirected Walking mit einer höheren Bildrate und einer verbesserten Messung der Linear- und Winkelgeschwindigkeit besser funktioniert. Wir wollen herausfinden, wie viel von jeder Art von Rotationsverzerrung in Abhängigkeit von der linearen Geschwindigkeit, der Winkelgeschwindigkeit und der Beschleunigung des Benutzers unmerklich injiziert werden kann.

In der aktuellen Version des Algorithmus nutzen wir nur Rotationsverzerrungen. Wir spekulieren, dass es auch möglich ist, die Gehgeschwindigkeit der Benutzerin zu verzerren, ohne dass sie es bemerkt. Dazu müssen wir die lineare Beschleunigung messen und die linear-vestibulären, visuellen und akustischen Signale konsistent machen.

Wir möchten untersuchen, inwieweit die Technik des umgeleiteten Gehens von der Konsistenz der visuellen und akustischen Signale abhängt. Können wir räumliches Audio durch nicht räumliches Audio ersetzen und die gleichen Ergebnisse erzielen?

Schließlich möchten wir den minimalen verfolgten Bereich bestimmen, in dem wir einen Benutzer unmerklich in einem vollständigen Kreis laufen können. Dies würde es uns ermöglichen, das ultimative Ziel des umgeleiteten Gehens zu erreichen: reales Gehen als Fortbewegungsmittel in virtuellen Umgebungen von uneingeschränkter Größe.

Danksagung

Wir danken Frederick P. Brooks Jr. für die Unterstützung bei der Gestaltung der Studie und dem Schreiben dieses Papiers, Henry Fuchs für den Vorschlag, Wegpunkte zu verwenden, Mark Hollins für die wertvolle Diskussion über die Wahrnehmung des Vestibulums und Michael Meehan für das Feedback zur Pilotstudie. Wir danken Bill Chung und dem Vertical Motion Flight Simulation Laboratory des Nasa Ames Research Center für die Erklärung und Demonstration von Techniken, die in Bewegungssimulatoren verwendet werden, um vestibuläre Hinweise zu induzieren. Wir danken auch Greg Welsh für die Hilfe beim Bearbeiten von Videos und Kevin Arthur, Bill Baxter, Stephen Brumback, David Harrison, Kurtis Keller, John Thomas und Greg Welsh für die Hardwareunterstützung. Abschließend danken wir Michael Zyda und Rudy Darken für die informative Diskussion über verschiedene Fortbewegungstechniken. Diese Arbeit wurde vom Nationalen Zentrum für Forschungsressourcen des NIH, Grant-Nummer P41 RR 02170, unterstützt.

Verweise

1. Usoh, M., K. Arthur, M. Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater und F. Brooks. *Gehen> Gehen an Ort und Stelle> Fliegen in virtuellen Umgebungen*. im *SIGGRAPH*. 1999.
2. Moshel, M., Persönliche Mitteilung, *unendlich virtueller Spaziergang*, S. Razzaque. 1999.
3. Dichgans, J. und T. Brandt, *Visuell-vestibulär Interaktion: Auswirkungen auf die Selbstbewegungswahrnehmung und die Haltungskontrolle*, im *Wahrnehmung*, R. Held, H. Leibowitz und H.-L. Teuber, Herausgeber. 1977, Springer-Verlag: New York. p. 755-804.
4. Lackner, JR, *Induktion von illusorischer Selbstrotation und Nystagmus durch ein rotierendes Schallfeld*. Luft-, Raumfahrt- und Umweltmedizin, 1977.
5. Kolasinski, E., *Simulatorkrankheit in virtuellen Umgebungen*. 1995, Forschungsinstitut der US-Armee für Verhaltens- und Sozialwissenschaften: Alexandria, Virginia.
6. Razzaque, S., Z. Kohn und MC Whitton, *Umgeleitetes Gehen - Pilotstudien*. 2001, Universität von North Carolina, Abteilung für Informatik: Chapel Hill.
7. Ward, M., RT Azuma, R. Bennett, S. Gottschalk und H. Fuchs. *Ein demonstrierter optischer Tracker mit skalierbarem Arbeitsbereich für am Kopf montierte Anzeigesysteme*. im *Symposium über interaktive 3D-Grafik*. 1992.
8. Welch, G. und G. Bishop. *SCAAT: Inkrementelles Tracking mit unvollständigen Informationen*. im *Proceedings of SIGGRAPH 97, Computer Graphics Proceedings, Jahreskonferenzreihe*. 1997.
9. Robinett, W. und R. Holloway. *Implementierung von Fliegen, Skalieren und Greifen in virtuellen Umgebungen*. im *ACM-Symposium für interaktive 3D-Grafiken*. 1992. Cambridge, Mass.: ACM.
10. Slater, M., M. Usoh und A. Steed, *Schritte unternehmen: Der Einfluss einer wandelnden Metapher auf die Präsenz in der virtuellen Welt*

• Die Eurographics Association 2001.

Wirklichkeit. ACM-Transaktionen zur Interaktion zwischen Computern und Menschen (TOCHI), 1995. 2 (3): p. 201-219.

11. Templeman, JN, PS Denbrook und LE Sibert, *Virtuelle Fortbewegung: Gehen Sie an Ort und Stelle durch virtuelle Umgebungen*. Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen, 1999. 8 (6): p. 598-617.
12. Pratt, DR, PT Barham, J. Locke, MJ Zyda, B. Eastman, T. Moore, K. Biggers, R. Douglass, S. Jacobsen, M. Hollick, J. Granieri, H. Ko und NI Badler. *Einfügen eines artikulierten Menschen in eine vernetzte virtuelle Umgebung*. im *Berichte der Konferenz über KI, Simulation und Planung in Systemen mit hoher Autonomie von 1994*. 1994. Gainesville, Florida, USA.
13. Brooks, FP, J. Airey, J. Alspaugh, A. Bell, R. Brown, C. Hill, U. Nimscheck, P. Rheingans, J. Rohlf, D. Smith, D. Turner, A. Varshney, Y. Wang, H. Weber und X. Yuan, *Sechs Generationen von Komplettlösungen: Technischer Abschlussbericht an die National Science Foundation*. 1992, Institut für Informatik, Universität von North Carolina: Chapel Hill.
14. Darken, RP, WR Cockayne und D. Carmein. *Das omnidirektionale Laufband: Ein Fortbewegungsgerät für virtuelle Welten*. im *Verfahren der ACM User Interface Software und Technologie*. 1997. Banff, Kanada.
15. Iwata, H. und Y. Yoshida, *Pladireproduktionstests mit einem Torus-Laufband*. Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen, 1999. 8 (6): p. 587-597.
16. Hollerbach, JM, RR Christensen, Y. Xu und SC Jacobsen. *Konstruktionsspezifikationen für die Sarcos Treadport-Fortbewegungsschnittstelle der zweiten Generation*. im *Haptics Symposium, Proc. ASME Dynamic Systems and Control Division*. 2000. Orlando.
17. Christensen, RR, JM Hollerbach, Y. Xu und S. Meek, *Trägheitskraftrückmeldung für den Treadport*. Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen, 2000. 9 (1): p. 1-14.
18. Peterson, B., M. Wells, T. Furness und E. Hunt. *Die Auswirkungen der Schnittstelle auf die Navigation in virtuellen Umgebungen*. im *Proceedings of Human Factors and Ergonomics Society Jahrestagung 1998*. 1998.
19. LaViola Jr., JJ, DA Feliz, DF Keefe und RC Zeleznik. *Freisprech-Multi-Scale-Navigation in virtuellen Umgebungen*. im *ACM Symposium über Interaktive 3D-Grafik*. 2001. Research Triangle Park, NC.
20. Klatzky, RL, *Allozentrische und egozentrische räumliche Darstellungen: Definitionen, Unterscheidungen, und Verbindungen, im Räumlich Erkenntnis Ein Interdisziplinärer Ansatz zur Darstellung und Verarbeitung von räumlichem Wissen*, C. Freksa, C. Habel und WKF, Herausgeber. 1998 Springer-Verlag: Berlin / Heidelberg.