

Vergleichen von VE-Fortbewegungsschnittstellen

Mary C. Whitton *
Universität von Nord
Carolina in Chapel Hill

Joseph V. Cohn †
US Naval Research
Labor

Jeff Feasel
Universität von Nord
Carolina in Chapel Hill

Paul Zimmons
Universität von Nord
Carolina in Chapel Hill

Sharif Razzaque
Universität von Nord
Carolina in Chapel Hill

Sarah J. Poulton ‡
Hollins University
Roanoke, VA

Brandi McLeod
Universität von Maryland an
College Park

Frederick P. Brooks, Jr.
Universität von Nord
Carolina in Chapel Hill

EIN BSTRACT

Um Fortbewegungsschnittstellen für Benutzer zu vergleichen und zu bewerten, die sich in VEs (virtuell) zu Fuß bewegen, haben wir eine Studie durchgeführt, um das Aufgabenverhalten und die Aufgabenleistung mit verschiedenen visuellen und Fortbewegungsschnittstellen zu charakterisieren. Sowohl in einer computergenerierten Umgebung als auch in einer entsprechenden realen Umgebung gingen die Studienteilnehmer zu Zielen an Wänden und hielten so nah wie möglich an ihnen an, ohne Kontakt aufzunehmen.

Unter jeder der fünf Versuchsbedingungen verwendeten die Teilnehmer eine Kombination aus einer von drei Fortbewegungsschnittstellen (wirkliches Gehen, Gehen an Ort und Stelle und Joystickfliegen) und einer von drei visuellen Bedingungen (am Kopf montiertes Display, uneingeschränktes natürliches Sehen oder Feld-). Sichtbehindertes natürliches Sehen). Wir haben Metriken identifiziert und Daten gesammelt, die die Aufgabenleistung und die zugrunde liegende Kinematik der Aufgabe erfassen.

Unsere Ergebnisse zeigen: 1) Über 95% der Varianz in einfachen Bewegungspfaden wird in drei kritischen Werten erfasst: Spitzengeschwindigkeit; wenn im Verlauf einer Bewegung die Spitzengeschwindigkeit auftritt; und Spitzenverzögerung. 2) Korrelationen dieser kritischen Wertdaten für die paarweise genommenen Bedingungen legen eine grobe Anordnung der Fortbewegungsschnittstellen nach „Natürlichkeit“ nahe. 3) Die Aufgabenleistung variiert mit der Schnittstellenbedingung, aber Korrelationen dieses Werts für paarweise genommene Bedingungen gruppieren sich nicht nach Natürlichkeit. 4) Die Wahrnehmungsvariable,

(auch als Kontaktzeit bekannt)

berechnet am Punkt der Spitzenverzögerung hat eine höhere Korrelation mit der Aufgabenleistung als berechnet bei der Spitzengeschwindigkeit.

CR Kategorien: H.5.2 [Informationsschnittstellen und Präsentation]: Benutzeroberflächen; I.3.7 [Computergrafik]: Dreidimensionale Grafik und Realismus - Virtuelle Realität.

Schlüsselwörter: Fortbewegung, Geschwindigkeitsprofil, Tau, Zeit bis zur Kollision, Motorsteuerung, Vision, Wahrnehmungsaktion.

* {whitton|feasel|zimmons|sharif|brooks}@cs.unc.edu

† cohn@itd.nrl.navy.mil

‡ spoulton@hollins.edu

+ brandi_mcleod@hotmail.com



Abbildung 1: Die Annäherungswand und die Stoppaufgabe

1 I. EINLEITUNG

Eines der ungelösten Probleme bei der Erforschung von Systemen für virtuelle Umgebungen ist die Erstellung einer Fortbewegungsschnittstelle, über die Benutzer sich zu Fuß durch virtuelle Räume bewegen können, die viel größer sind als der reale Raum, der das VE-System umschließt. Wir haben eine Reihe von Studien gestartet, um Fortbewegungsschnittstellen für Benutzer zu vergleichen und zu bewerten, die zu Fuß unterwegs sind. Obwohl es eine Reihe ausgeklügelter mechanischer Fortbewegungsschnittstellen gibt (einige sind in [1] und [2] beschrieben), haben wir uns auf drei konzentriert: wirkliches Gehen (als Standard), einfaches Gehen an Ort und Stelle und Fliegen mit einem Joystick (als Standard), oder Gamepad).

Die Ziele der hier beschriebenen Arbeit sind die Entwicklung von Metriken zur Charakterisierung und zum Vergleich der Bewegungen der Benutzer unter den verschiedenen Schnittstellenbedingungen, die Korrelation dieser Metriken mit den Metriken für die Aufgabenleistung und die Untersuchung von Metriken, die die Schnittstellenbedingungen mit der Leistung in Beziehung setzen. Wir hoffen, aus dieser und den folgenden Studien ein Modell und Richtlinien zu entwickeln, die Systembauer bei der Wahl der Fortbewegungsschnittstelle beraten. Insbesondere werden unsere Ergebnisse verwendet, um die Entwicklung von Feldsystemen für die Ausbildung von abmontierten Kriegskämpfern (dh Infanteristen und Marinesoldaten) zu beraten. Die endgültige Bewertungsmetrik für die Schnittstellen und Systeme ist der Betrag, um den sich die realen Fähigkeiten durch das Training in einer immersiven virtuellen Umgebung verbessern.

Die meisten Studien zur Fortbewegung beschränken sich entweder auf eine virtuelle oder eine reale Umgebung. Unsere Einrichtung unterstützt beide. Aus diesem Grund haben wir Methoden entwickelt, um die Ausgabe einer Fortbewegungsschnittstelle zu charakterisieren, dh den Bewegungspfad des Benutzers durch die virtuelle Umgebung, und diese Charakterisierungen dann verwendet, um verschiedene Schnittstellenbedingungen miteinander und mit natürlicher Bewegung zu vergleichen

IEEE Virtual Reality 2005 12.-16. März, Bonn,
Deutschland 0-7803-8929-8 / 05 / \$ 20 © 2005
IEEE

in der realen Umgebung. Wir haben Metriken aus den Bewegungspfaden abgeleitet, die Leistung bei einer einfachen Aufgabe gemessen (an eine Wand gehen und anhalten, Abbildung 1) und untersucht, wie sich die Motorsteuerung dieser einfachen Aktion, die in der Wahrnehmungsvariablen erfasst wird, zwischen den Schnittstellen unterscheidet.

Neues Wissen. Die Hauptkomponentenanalyse der Bewegungspfaddaten ergab, dass die ersten drei Hauptkomponenten hauptsächlich mit 1) der maximalen Geschwindigkeit zusammenhängen; 2) wenn während der Bewegung die maximale Geschwindigkeit auftritt (prozentuale Zeit, die vom Beginn der Bewegung bis zum Beginn der Verzögerung verstrichen ist, hier als bezeichnet *Prozent Zeit*), und 3) maximale Verzögerung. Die Varianzanalyse mit wiederholten Messungen zeigte, dass der Grenzflächenzustand einen signifikanten Effekt hatte ($p < 0,05$) auf Variablen Spitzengeschwindigkeit und Spitzenverzögerung sowie auf Aufgabenleistung und auf

gemessen bei Spitzengeschwindigkeit und bei Spitzengeschwindigkeit

Verzögerung.

Um die Auswirkungen der Bedingung besser zu verstehen, haben wir sowohl Vergleiche als auch Korrelationen von Daten für die 10 möglichen Paare von Bedingungen durchgeführt, die jeweils zu zwei genommen wurden. Wir werden diese als bezeichnen *Paarweise Vergleiche* und *paarweise Korrelationen*. Paarweise Vergleiche der geplanten Mittel *a priori* ergab, dass 53 von 60 signifikant waren; Diese Daten waren nicht aufschlussreich. Rangfolge der Ergebnisse der paarweisen Korrelationen der bewegungspfadbezogenen Daten (Spitzengeschwindigkeit, Spitzenverzögerung und

an diesen Punkten berechnet)

schlägt eine Gruppierung und Reihenfolge der Schnittstellen vor, nach wie viel sie der Fortbewegung in der realen Welt ähneln. Benutzerfragebogendaten und Daten zur Aufgabenleistung haben dies nur teilweise unterstützt, wobei die Unterschiede wahrscheinlich auf die Qualität unserer Benutzeroberfläche zurückzuführen sind. Paarweise Korrelationen der Aufgabenleistungsmetrik und

gemessen bei 1) Spitzenverzögerung und 2) Spitze

Die Geschwindigkeit folgt nicht der Häufung und Reihenfolge der bewegungspfadbezogenen Variablen.

Die Daten zeigen, dass die bei Spitzenverzögerung gemessene Leistung stärker mit der Aufgabenleistung korreliert als bei der bei Spitzengeschwindigkeit gemessenen.

Dies legt die Verwendung von nahe am Peak berechnet

Verzögerung bei weiteren Arbeiten zur Untersuchung der Motorsteuerung, der Bewegungspfade und der Leistung.

Die Ergebnisse reichen noch nicht aus, um strenge Gestaltungsrichtlinien festzulegen. Sie bieten jedoch einen Rahmen für weitere Studien zur Entwicklung und Erprobung von Modellen für die Wirksamkeit der Bewegungsschnittstelle.

2 P. REVIEWS R. SUCHE

2.1 Fortbewegungsschnittstellen vergleichen

Metrik: Positionsgenauigkeit. Iwata und Yoshida [3] verglichen die Fähigkeit von Benutzern, Pfade durch ein VE zu reproduzieren, und verglichen die Leistung von Benutzern ihres Torus-Laufbandes mit denen, die eine Joystick-Fortbewegungsschnittstelle verwendeten. In der ersten Studie gingen Benutzer einen geraden Weg zu einem Zielkegel. In der zweiten Studie gingen die Benutzer zu einem ersten Zielkegel, machten eine Kurve und gingen dann zu einem zweiten Kegel. In beiden Studien gingen die Benutzer mit sichtbaren Zapfen den Weg entlang und wurden dann gebeten, ohne Zapfen wieder auf denselben Weg zu gehen. Die Genauigkeit wurde gemessen, wie nahe die Benutzer den Kegelpositionen kamen, als sie über die Pfade gingen, ohne die Kegel zu sehen. Beim Gehen in einer geraden Linie überschritt der Benutzer das Ziel unter beiden Fortbewegungsbedingungen um nahezu den gleichen Betrag. Im Zwei-Kegel-Zustand

Metrik: Erkenntnis. Zambaka et al. [4] untersuchten die Auswirkung von vier Fortbewegungsschnittstellen auf die Wahrnehmung in einer immersiven virtuellen Umgebung. Ihre vier Bedingungen variierten in der Fortbewegungssteuerung, der Blickwinkelsteuerung und der Anzeigegeometrie. Die gesammelten Daten waren die

Ergebnisse eines Kognitionsfragebogens (CQ), Skizzenkarten und Antworten auf den Steed-Usoh-Slater (SUS) -Präsenzfragebogen. Das CQ untersuchte drei Kategorien: Wissen, Rückruf oder Anerkennung spezifischer Informationen; Verständnis und Anwendung, Verständnis und Anwendung von Informationen; und höhere mentale Prozesse, Informationsanalyse, Synthese und Bewertung.

Post-hoc-Analysen zur Untersuchung von Trends bei den Ergebnissen für Verständnis und Anwendung sowie bei den Ergebnissen für höhere mentale Prozesse zeigten eine signifikant höhere Leistung für den tatsächlichen Gehzustand gegenüber der Joystick-Fortbewegung. Ähnliche signifikante Leistungsunterschiede bei den Ergebnissen von Verständnis und Anwendung wurden zwischen dem tatsächlichen Gehzustand und einem Zustand festgestellt, in dem der Benutzer die Umgebung auf einem Monitor betrachtete und die Bewegung und den Blickwinkel mit einem Joystick kontrollierte. Insgesamt lieferten die Forschungsergebnisse Hinweise darauf, dass das physische und natürliche Gehen in einer virtuellen Umgebung kognitive Vorteile hat, wenn die Anwendung das Lösen von Problemen und die Interpretation von Material umfasst.

Metrik: Multisensorischer Realismus. Es gibt signifikante Hinweise darauf, dass der Grad des Realismus des sensorischen Eintauchens, interpretiert als der Grad, in dem eine oder mehrere sensorische Modalitäten auf eine Weise stimuliert werden, die der realen Welt entspricht, eine Rolle bei der Unterstützung der Fähigkeit spielt, komplexe Aktionen in einer virtuellen Umgebung auszuführen [5]. Grant & Magee [6] zeigten einen entscheidenden Unterschied bei der Internalisierung räumlicher Informationen, wenn Benutzer eine großflächige VE entweder mit einem Joystick oder einer einfachen Gehoberfläche erkunden dürfen. Die Ergebnisse sprechen für die Schnittstelle, die eine natürlichere Fortbewegung ermöglicht. Andere Studien, in denen der Nutzen von VEs für das Training von räumlichen Navigations- und Wegfindungsfähigkeiten bewertet wurde ([7]), haben gezeigt, dass VEs neben einer angemessenen propriozeptiven Stimulation, z. B. natürlichem Gehen, auch angemessene visuelle Informationen liefern müssen.

Metrik: Präsenzgefühl. In [8] schlugen Slater, Usoh und Steed vor, dass das Gefühl der Präsenz eine Funktion sowohl von 1) der Übereinstimmung zwischen dem vom VE bereitgestellten sensorischen Input und den vom Teilnehmer verwendeten „internen Repräsentationssystemen...“ als auch von 2) der Übereinstimmung ist zwischen propriozeptiven Hinweisen und visuellem Feedback, dh realistischen visuellen und realistischen Bewegungshinweisen. In zwei Studien wurde die Wirksamkeit von Fortbewegungstechniken verglichen, indem der Grad der Präsenz gemessen wurde, der bei Benutzern verschiedener Fortbewegungstechniken hervorgerufen wurde, während der Sehzustand konstant gehalten wurde.

Slater, Steed und Usoh [8] verglichen das Gehen an Ort und Stelle und das Ein- und Ausfliegen in einer Umgebung, die bei den Benutzern eine starke Reaktion hervorrief, eine visuelle Klippe. Usoh et al. [9] berichten über eine Folgestudie, die sowohl die ursprünglichen Bedingungen, das Gehen an Ort und Stelle als auch das Drucktastenfliegen, umfasste, und fügten die Bedingung des tatsächlichen Gehens hinzu. In beiden Studien wurde untersucht, ob Benutzer eine höhere Präsenz in einem VE erfahren würden, wenn sie sich mithilfe einer Fortbewegungstechnik durch die Umgebung bewegen würden, die propriozeptive Reize ähnlich dem natürlichen Gehen liefert.

Fragebögen zur Anwesenheit nach der Erfahrung für die erste Studie zeigten, dass das Gehen an Ort und Stelle ein höheres Maß an Präsenz erzeugt als das Bewegen per Knopfdruck, vorausgesetzt, die Benutzer identifizieren sich mit ihrem Avatar. Die zweite Studie zeigte, dass sowohl das Gehen als auch das Gehen an Ort und Stelle eine signifikant höhere Präsenz ergaben als das Druckknopfdrücken. Ein starker Trend deutete darauf hin, dass wirkliches Gehen ein höheres Gefühl der Präsenz erzeugt als das Gehen an Ort und Stelle.

2.2 Analyse von Bewegungen aus Tracker-Protokollen

Ein Bewegungspfad ist eine Folge von Positions-Zeit-Abtastwerten eines verfolgten Punktes auf dem Körper des Benutzers. Aus einem solchen Weg lässt sich leicht ableiten

Geschwindigkeitsprofil (Geschwindigkeit gegen Zeit) und Maße wie maximale Geschwindigkeit, Spitzenverzögerung und.

Wir haben die Bewegungen in unserer Studie im Wesentlichen auf die gleiche Weise analysiert, wie in Mason et al. [10]. Obwohl sich ihre Forschung auf das Erreichen von Bewegungen konzentriert, sind ihre gemeldeten Datenaufbereitungstechniken besonders relevant. Mason verwendete einen 3-DoF-Tracker, um Bewegungspfade zu erreichen, die Hände erreichen. Die Rohdaten des Trackers wurden interpoliert und mit einem Butterworth-Tiefpassfilter geglättet, bevor das Geschwindigkeitsprofil und andere Maße berechnet wurden. Ihre Pfade wurden algorithmisch auf eine konsistente Startbedingung abgeschnitten (wenn die Geschwindigkeit in ihrem Fall 5 mm / s erreichte). Wir verwendeten nahezu identische Techniken.

2.3 au und Motion Control

Lee und Reddish [12] stützen ihre Arbeit auf den Gibsonschen Gedanken, visuelle Eingaben als optisches Flussfeld zu behandeln [11], und schlagen vor, dass der Beginn bestimmter Bewegungen durch die visuellen Informationen gesteuert wird, die Individuen erhalten. Sie schlagen vor, dass der Steuermechanismus auf einem optisch definierten Parameter, der Zeit bis zur Kollision, basiert. In der Wahrnehmung ist die Erweiterung der visuellen Informationen auf der Netzhaut; Operativ wird es als Abstand des Benutzers von der Kollision geteilt durch die Geschwindigkeit des Benutzers ($dh \times x / x'$) berechnet (siehe [13] für detaillierte Ableitungen). Lee und Reddishs Arbeit demonstrieren diese Beziehung zwischen (berechnet als x / x') und motorischem Verhalten für ein einzelnes System, und Schoner [14] zeigt, dass es in einer Reihe anderer zuvor beschriebener experimenteller Systeme gilt.

In der Praxis wird typischerweise bei einem kritischen Wert innerhalb eines Bewegungspfads angegeben, z. B. bei Spitzengeschwindigkeit [15] oder an dem Punkt im Pfad, an dem die Abweichungen am geringsten sind [16]. Der Wert bei Spitzengeschwindigkeit, dh der Beginn der Verzögerung für einfache Bewegungen, wurde als Element in Motorsteuerungsstrategien umfassend untersucht [15]. Die Forschung hat auch Kontrollsituationen identifiziert und untersucht, in denen sie unter experimentellen Bedingungen nahezu konstant bleibt [15, 16]. Solche Fälle sind wichtig, weil die Vorstellung, dass Bewegungsmerkmale, die über Bedingungen hinweg unveränderlich sind, die Art der neuronalen Steuerung motorischer Aktionen widerspiegeln [17].

In dieser Arbeit wird angenommen, dass die Bewegungssteuerung in erster Linie von visuell bereitgestellten Informationen abhängt. Frühere Arbeiten [12, 16, 18, 19] legen nahe, dass die wahrgenommene Kontaktzeit als umweltspezifische (dh situationsspezifische) Variable zur Steuerung von Bewegungen in einer dynamischen Umgebung dienen kann. Hier untersuchen wir den Begriff, der die Beziehung zwischen Bewegungspfadmetriken, Aufgabenleistung und Schnittstellentyp erfasst und ein weiteres Mittel zur Quantifizierung der Auswirkungen des Schnittstellendesigns auf die Leistung darstellt.

2.4 Wirksamkeit und Natürlichkeit der Schnittstelle

Osgoods Vorstellung von identischen Elementen legt nahe, dass je näher die Trainingsumgebung an der tatsächlichen liegt, desto wahrscheinlicher ist es, dass sich die Trainingsumgebung als wirksam erweisen wird [20]. Frühere Arbeiten, die in Abschnitt 2.1 zitiert wurden, stützen die Vorstellung, dass je natürlicher oder realistischer die Fortbewegungsschnittstelle ist, desto effektiver ist sie, wie anhand einer bestimmten Metrik bewertet. Diese Ideen legen nahe, dass wir unsere Daten untersuchen, um festzustellen, ob sie die Idee einer „Natürlichkeit“-Ordnung von Fortbewegungsschnittstellen unterstützen. Mithilfe von vom Bewegungspfad abgeleiteten Variablen für reale und VR-Bedingungen können wir untersuchen, inwieweit die Bewegungen der Benutzer unter verschiedenen Bedingungen ihren Bewegungen in der realen Umgebung entsprechen. Wir können einen ähnlichen Vergleich für die Aufgabenleistung durchführen und den Umfang unserer Vergleiche auf Motorsteuerungsmechanismen erweitern, indem wir Werte von vergleichen

unter

unterschiedliche Schnittstellenbedingungen.

3 U. SER S. TUDY

Das Institutional Review Board für akademische Angelegenheiten an der Universität von North Carolina in Chapel Hill genehmigte die hier gemeldete Benutzerstudie.

Benutzerbewegung in der realen Welt ist der Standard, mit dem wir verschiedene Fortbewegungsschnittstellen vergleichen. Basierend auf unserer Annahme, dass der Kopf des Benutzers in zukünftigen VE-basierten Trainingssystemen verfolgt wird, und um die Wahrscheinlichkeit zu maximieren, dass unsere Metriken in zukünftigen Feldstudien verwendet werden können, haben wir unsere Metriken auf Bewegungsparametern basiert, die nur aus der Kopfverfolgung abgeleitet wurden Daten.

3.1 Bedingungen und Aufgabe

Jede der fünf von uns untersuchten Bedingungen umfasste eine von drei Fortbewegungsschnittstellen und eine von drei visuellen Schnittstellen. Von den drei Fortbewegungsschnittstellen war eine natürlich (wirklich gehend) und zwei künstlich (Joystick fliegen und an Ort und Stelle gehen). In ähnlicher Weise war eine der drei visuellen Schnittstellen eine natürliche (ungehinderte natürliche Sicht) und zwei künstliche (Sichtfeldbeschränkte natürliche Sicht und ein am Kopf montiertes Display (HMD)).

Wir haben Daten für drei VE-Bedingungen gesammelt: wirkliches Gehen in der virtuellen Realität (VRW), Joystickfliegen (JS) und Gehen an Ort und Stelle (WIP). Wir haben Daten für zwei Bedingungen gesammelt, unter denen Benutzer auf natürliche Weise sehen konnten: wirklich mit ungehinderter Sicht (Real) und wirklich mit Sichtfeldbeschränkung (Cowl). Das Sichtfeld der Motorhaube und des HMD ist das gleiche.

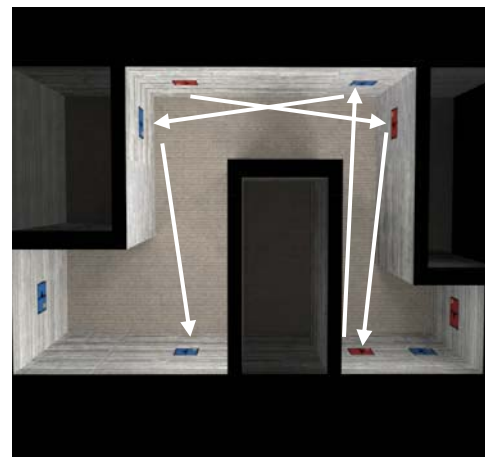


Abbildung 2: Das virtuelle Labyrinth von oben gesehen.
Die Pfeile zeigen die Annäherungen an die fünf in der Studie verwendete Ziele.

Jeder Teilnehmer navigierte in jeder Bedingung durch ein Labyrinth. Die Reihenfolge der Bedingungen wurde durch einen modifizierten lateinischen Platz bestimmt. Als sie sich durch das Labyrinth bewegten, sahen die Teilnehmer Ziele an den Wänden. Wir haben die Teilnehmer angewiesen, auf das Ziel zuzugehen und so nah wie möglich daran anzuhalten, ohne die Wand zu berühren. Wenn sich die Teilnehmer so nah wie möglich an der Zielebene fühlten, signalisierten sie per Knopfdruck und gingen dann zum nächsten Ziel. Die Experimentatoren stellten fest, ob die Teilnehmer gegen die Wand stießen, diese Informationen wurden jedoch in der hier vorgestellten Analyse nicht verwendet.

3.2 Ausrüstung und Software

Unsere Umgebungen wurden mit 3D Studio Max TM modelliert. Unsere benutzerdefinierte Anwendung für virtuelle Umgebungen wurde mit Visual C ++ 6.0 unter Windows TM XP, der WildMagic TM -Spiel-Engine von Magic Software, Inc. und der VRPN-Bibliothek für die Kommunikation mit Peripheriegeräten entwickelt. Die Studienanwendung wurde auf einem 1,7-GHz-Dual-Xeon-PC mit 1 GB RAM und einer nVidia GeForce TM 4 Ti 4600-Grafikkarte ausgeführt. Für die VR-Bedingungen trugen die Teilnehmer ein Virtual Research Systems V8 HMD mit einer dreifarbigem Pixelauflösung von 640 x 480 in jedem Auge und einem horizontalen Sichtfeld von 47 Grad. Der Kopf wurde mit einem verfolgt

3rdTech™ HiBall 6DoF optischer Tracker mit einer 22 'x 30' großen Spurweite. Der Tracker-Sensor wurde für die VRW-, JS- und WIP-Bedingungen am HMD montiert. Für den Cowl-Zustand wurde der Tracker auf einer modifizierten V8-HMD-Schale montiert, die das Sichtfeld einschränkte. Im Real-Zustand wurde der Tracker an einem einfachen Stirrband montiert. Die Teilnehmer trugen ein Logitech® Cordless Rumblepad als Tasteneingabegerät und zur Fortbewegung im Joystick-Flugzustand. Der Mittelpunkt im 256-Pegel-Ausgabebereich des Joysticks wurde auf eine Geschwindigkeit eingestellt, die mit dem normalen Gehen vergleichbar ist. Unter den JS- und WIP-Bedingungen vibrierte das Rumblepad, wenn der Benutzer mit einer Wand kollidierte. Ein am HMD montierter Crossbow™ Solid State 2G-Beschleunigungsmesser lieferte Eingabedaten für die Walk-in-Place-Schnittstelle. Die Beschleunigung wurde mit einem Schwellenwert verglichen, um Schritte zu identifizieren, und die Schritte erzeugten wiederum die Vorwärtsbewegung eines durchschnittlichen Schrittes. Die Bewegungsrichtung sowohl für die JS- als auch für die WIP-Bedingungen war die Blickrichtung.

3.2.1 Passende reale und virtuelle Umgebungen

Wir bezeichnen die Umgebung als Labyrinth, obwohl es sich lediglich um einen Korridor mit vier Kurven handelte (Abbildung 2). An mehreren Stellen befanden sich Ziele an den Wänden. Das echte Labyrinth wurde aus ReddiForm™ Styroporblöcken konstruiert. Die Wände waren 1,8 m hoch. Die quadratischen 45-cm-Ziele haben einen vertikalen Streifen, der die Mitte des Ziels angibt, und einen Pfeil, der in Richtung des nächsten Ziels zeigt. Während eines Pilotprojekts der Studie stellte sich heraus, dass unser starkes VE keine vertrauten Objekte enthielt, mit denen Benutzer Größe und Maßstab beurteilen konnten. Als Reaktion darauf haben wir jedem Ziel eine Lichtschalter-Abdeckplatte hinzugefügt. Das virtuelle Labyrinth und die Ziele stimmten mit dem realen Labyrinth und den Zielen überein (Abbildung 3).

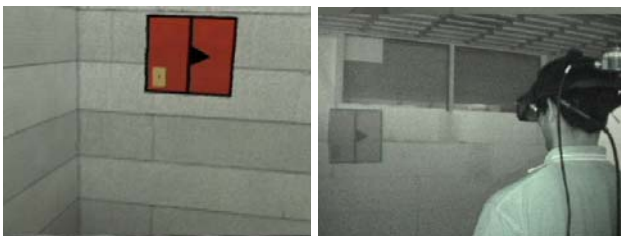


Abbildung 3: Ansichten des Benutzers aus der ersten Person (links) und der dritten Person
Annäherung an ein Ziel

3.2.2 Datenerfassung und Vorverarbeitung

Bewegungspfade. Wir haben Frames aktualisiert und die 6DoF-Headpose-Daten mit 160 Hz protokolliert. Wir haben 3DoF-Bewegungspfade aus den Posedaten extrahiert.

Pfadvorverarbeitung. Um einen konsistenten Startpunkt für jeden Zielsatz bereitzustellen, haben wir jeden Pfad algorithmisch abgeschnitten, sodass er in derselben Entfernung von der Zielebene begann.

Da die Bewegungspfade in jedem Zielsatz im Wesentlichen senkrecht zur Zielebene sind, haben wir die 3DoF-Punkte auf eine solche Linie projiziert. Dies reduzierte nicht nur die Dimensionalität der Daten, sondern beseitigte auch Positionsschwankungen, die durch für das Gehen charakteristische Kopfbewegungen von Seite zu Seite und von oben nach unten verursacht wurden.

Das Filtern mit einem Butterworth-Tiefpassfilter eliminierte Headbob-Bewegungen von den Pfaden und eliminierte alle Hochfrequenzbewegungen, die durch Tracker-Jitter verursacht wurden. Die Grenzfrequenz wurde empirisch definiert, um Welligkeiten in den Pfaddaten zu beseitigen, die in späteren Differenzierungsschritten übertrieben würden.

Unser System wird mit deaktivierter Synchronisierung und vertikaler Aktualisierung ausgeführt. Kein Benutzer gab an, dass das Bild "reißt". Wir führen dies auf die relativ langsame Schaltzeit der LCDs im HMD zurück.

Hauptkomponentenanalyse. Beobachtungen von Geschwindigkeitsprofilen für unsere fünf Bedingungen in einer früheren explorativen Studie (Abbildung 4) deuteten darauf hin, dass Kurvenhöhe, Schräglauf und Verzögerungsteilheit die Kurven für die verschiedenen Bedingungen unterscheiden. In der aktuellen Studie haben wir eine quantitative Bestätigung unserer Beobachtungen mithilfe der Hauptkomponentenanalyse (PCA) angestrebt.

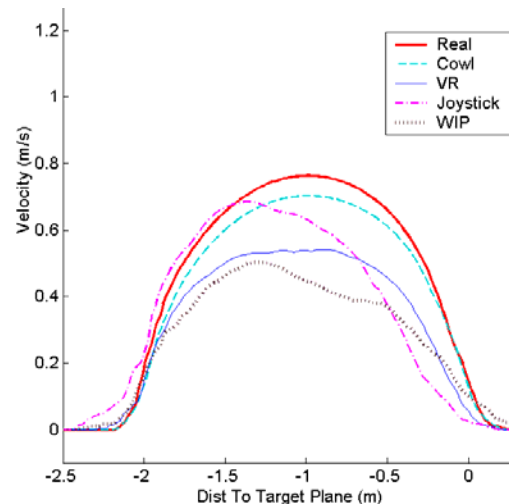


Abbildung 4: Diese Kurven aus einer explorativen Studie zeigen die Mittelwerte der Pfade für alle Probanden für jede Bedingung für ein Ziel. Wir haben beobachtet, dass die Spitzengeschwindigkeit zwischen den Bedingungen und diesen unterschiedlich ist

Die Spitzengeschwindigkeit für Joystick und WIP ist nach links geneigt. Weniger offensichtlich ist die Änderung der Steilheit bei der Verzögerung.

Zitat aus der Wikipedia-Website: „In der Statistik, **Hauptkomponentenanalyse (PCA)** ist eine Technik, mit der ein Datensatz vereinfacht werden kann. Formal ist es eine lineare Transformation, die ein neues Koordinatensystem für den Datensatz so wählt, dass die größte Varianz durch jede Projektion des Datensatzes auf der ersten Achse (dann als erste Hauptkomponente bezeichnet) liegt, die zweitgrößte Varianz auf die zweite Achse und so weiter. PCA kann verwendet werden, um die Dimensionalität in einem Datensatz zu reduzieren und gleichzeitig die Eigenschaften des Datensatzes beizubehalten, die am meisten zu seiner Varianz beitragen, indem die späteren Hauptkomponenten eliminiert werden (durch eine mehr oder weniger heuristische Entscheidung).“ Wir verwenden PCA genau auf diese Weise, um die Dimensionalität der Pfadvektordaten zu reduzieren.

Die Eingabe in die PCA ist ein Satz von Merkmalsvektoren, die von den Pfadvektoren abgeleitet sind, ein Merkmalsvektor für jeden Pfadvektor. Um die Merkmalsvektoren für die Geschwindigkeitsprofile zu erzeugen, verwendeten wir zuerst Finite-Differenzen-Techniken, um Positionsgeschwindigkeitsdaten aus den Positions-Zeit-Pfadvektoren zu erzeugen. Die Geschwindigkeitsdaten wurden dann in der Entfernung neu abgetastet, um einen Merkmalsvektor mit 50 Elementen zu erzeugen. Fünfzig wurde empirisch als Kompromiss zwischen PCA-Berechnungskosten und Auflösung ausgewählt. Wir haben diesen Vorgang für jeden Pfadvektor wiederholt und einen Satz von Merkmalsvektoren mit 50 Elementen erstellt, die als Eingabe für die PCA verwendet wurden.

4 R. ERGEBNISSE

Wir haben Daten zu Anflügen und zum Anhalten an fünf wandmontierten Zielen unter jeweils fünf Schnittstellenbedingungen gesammelt. Wir haben sechs abhängige Variablen abgeleitet, um den Einfluss der Schnittstelle auf die Leistung zu quantifizieren: drei Bewegungspfadmetriken - Spitzengeschwindigkeit, Prozent der Zeit bis zur Spitzengeschwindigkeit (*Prozent Zeit*),² und Spitze

² Wir haben die Zeit normalisiert, da sich die Abstände zwischen den Zielen unterscheiden.

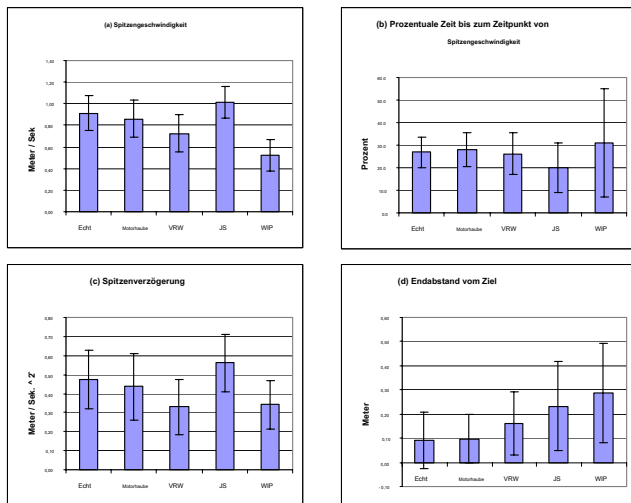


Abbildung 5: Mittelwert und +/- 1 von vier abhängigen Variablen

Verzögerung; Aufgabenleistung - endgültige Entfernung zum Ziel; und Zeit bis zur Kollision bei Spitzengeschwindigkeit und bei Spitzenverzögerung.

4.1 Studienteilnehmer

Die Teilnehmer wurden aus Studenten des UNC-Chapel Hill rekrutiert und für die Teilnahme an zweistündigen Sitzungen bezahlt. Alle Probanden konnten ohne fremde Hilfe gehen und bestanden ein Screening auf Gesundheit und Anfälligkeit für Reisekrankheit.

Zweiunddreißig Teilnehmer (21 Männer, 11 Frauen) waren zwischen 18 und 42 Jahre alt, mit einem Durchschnittsalter von 24 Jahren. Die Erfahrung beim Spielen von Videospielen war bimodal. 11 Teilnehmer berichteten von weniger als einer Stunde / Woche und 15 von ihnen über 10 Stunden / Woche. Die Teilnehmer waren im Allgemeinen naive VE-Benutzer: Nur sechs waren mehr als zweimal zuvor in einer immersiven Umgebung gewesen, und keiner hatte in jüngerer Zeit als einen Monat zuvor eine VE erlebt.

Benutzer unterzeichneten Einverständniserklärungen und füllten demografische Fragebögen aus, bevor sie die virtuelle Umgebung betraten. In Fragebögen nach der VE-Erfahrung wurden sie gebeten, ihre Erfahrungen mit den fünf Schnittstellen zu bewerten und zu bewerten. Offene Fragen ergaben zusätzliche qualitative Daten.

4.2 Beschreibung der quantitativen Metriken

4.2.1 Vom Bewegungspfad abgeleitete Metriken

Hauptkomponenten. Die ersten drei PCs machen über 95% der Datenvarianz aus. Unsere Geschwindigkeitsprofil-Merkmalvektoren haben eine Bedeutung, wenn sie grafisch dargestellt werden. Das Variieren der ersten drei PCs eines Geschwindigkeitsprofils zeigte, dass sie die Kurvenformen am deutlichsten wie folgt beeinflussen: die Höhe der Kurve (Spitzengeschwindigkeit), die Neigung des Spitzenwerts der Kurve (die prozentuale Zeit des Spitzenwerts) Geschwindigkeit) und wie steil die Kurve abfällt (Spitzenverzögerung). Die Analyse bestätigte, was unsere Beobachtung früherer Daten nahelegte: Diese drei Merkmale sind die Hauptfaktoren, die die Form von Geschwindigkeitsprofilen für verschiedene Fortbewegungsbedingungen definieren. Das Ergebnis der PCA half uns zu identifizieren, welche diskreten Werte aus den Bewegungspfaden abgeleitet wurden, die wir zum Vergleichen von Pfaden verwenden würden.

Bewegungspfadvariablen. Basierend auf dem Ergebnis der PCA untersuchten wir die Daten für die Spitzengeschwindigkeit, die prozentuale Zeit bis zur Spitzengeschwindigkeit und die Spitzenverzögerung für jede der fünf Bedingungen.

Die 5 (a), (b) und (c) zeigen die Mittelwerte und Standardabweichungen für diese Daten.

4.2.2 Aufgabenleistung: Endentfernung vom Ziel

In der vorliegenden Arbeit wird die Aufgabenleistung als der absolute Wert des Abstands zwischen der Endposition des Benutzers und der Ebene des Ziels definiert, an dem er anhält. Abbildung 5 (d) zeigt den Mittelwert und die Standardabweichung für diese Metrik.

4.2.3 Zeit bis zur Kollision:

Aus den Daten wurden zwei Werte berechnet, die zu den Zeiten der Spitzengeschwindigkeit und der Spitzenverzögerung genommen wurden. Das verwendete Verfahren war nahezu identisch mit dem in [12] vorgestellten. Fig. 6 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen, die bei Spitzengeschwindigkeit und Spitzenverzögerung berechnet wurden.

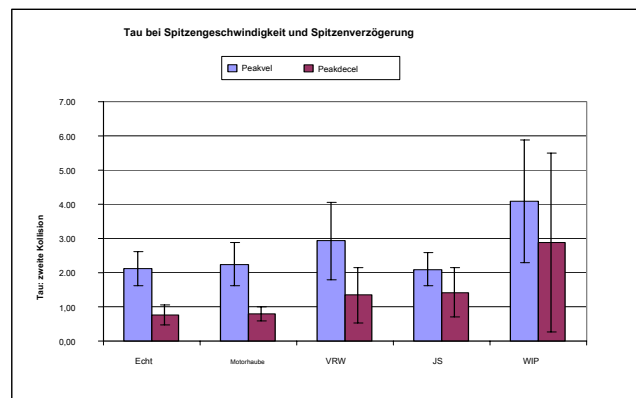


Abbildung 6: Mittelwert und +/- 1 für kritische Bewegungspfadvariablen.

4.3 Statistische Analyse

Die Gesamtstatistik basiert auf einer 5 x 5-Varianzanalyse (Targets x InterfaceType) mit wiederholten Messungen (ANOVA), die für jede der sechs abhängigen Variablen durchgeführt wird: Spitzengeschwindigkeit, prozentuale Zeit bis zur Spitzengeschwindigkeit, Spitzenverzögerung, Endabstand bei Spitzengeschwindigkeit und

bei Spitzenverzögerung. Da Daten fehlten, wurden statistische Analysen als sechs separate ANOVAs innerhalb der Probanden durchgeführt, mit entsprechenden *a priori* Kontraste, anstatt ein einziges MANOVA-Verfahren zu verwenden. Die Ergebnisse der ANOVAs wurden mit der Benjamini-Hochberg-Methode angepasst, die die falschen Erkennungsraten kontrolliert, die sich aus mehreren Hypothesentests ergeben [21]. Die Haupteffekte von Ziel und Schnittstellentyp wurden ebenso berücksichtigt wie geplante paarweise Vergleiche. Obwohl wir die Haupteffekte für Ziele angeben, werden wir in diesem Dokument nicht weiter auf Ziele eingehen.

4.3.1 ANOVA-Ergebnisse

Jedes unserer ANOVA-Verfahren verglich die Mittelwerte einer der abhängigen Variablen für drei Fälle: Unterschiede in den Mittelwerten über alle Ziele und alle Bedingungen (insgesamt), über fünf Ziele und über fünf Bedingungen.

Bewegungspfadmetriken. Die ANOVA für die Spitzengeschwindigkeit zeigte eine Gesamtsignifikanz ($p < 0,0001$) mit einem signifikanten Haupteffekt für

Unsere Analyse verwendete einen ANOVA-Prozess, der die Tatsache berücksichtigte, dass jedes Subjekt die Aufgabe in jeder Bedingung erledigte (Subjekte wiederholt). Die Mathematik für dieses Modell ist ungefähr und nicht genau, daher werden die Wahrscheinlichkeiten eher anhand des Chi-Quadrats als anhand der F-Statistik ermittelt. Dieses Modell gibt kein Maß für die Varianz zurück, die auf Ziel und Bedingung zurückzuführen ist.

sowohl Ziele ($p < 0,0001$) als auch Schnittstelle ($p < 0,0001$). Die ANOVA für die prozentuale Zeit zeigte eine Gesamtsignifikanz ($p < 0,002$) und einen signifikanten Haupteffekt für Ziele ($p < 0,0057$). Die prozentuale Zeit zeigte keinen Haupteffekt für die Schnittstelle ($p = 0,1583$). Die ANOVA für die Spitzenverzögerung zeigte auch eine Gesamtsignifikanz ($p < 0,0003$) und signifikante Haupteffekte für Ziele ($p < 0,005$) und Schnittstelle ($p < 0,0001$).

Aufgabenerfüllung. Die ANOVA für die Aufgabenleistung, gemessen als endgültiger Bremsweg relativ zu jedem Ziel, zeigte eine Gesamtsignifikanz ($p < 0,002$) mit einem signifikanten Haupteffekt sowohl für Ziele ($p < 0,003$) als auch für die Schnittstelle ($p < 0,001$).

Zeit bis zur Kollision. Die bei Spitzengeschwindigkeit gemessene ANOVA für die Zeit bis zur Kollision zeigte eine Gesamtsignifikanz ($p < 0,0002$) mit einem signifikanten Haupteffekt sowohl für Ziele ($p < 0,0001$) als auch für die Grenzfläche ($p < 0,0001$). Die ANOVA für die Zeit bis zur Kollision, gemessen bei Spitzenverzögerung, zeigte eine Gesamtsignifikanz ($p < 0,002$, mit einem signifikanten Haupteffekt sowohl für Ziele ($p < 0,03$) als auch für die Schnittstelle ($p < 0,0001$).

4.3.2 Geplante paarweise Vergleiche

Eine Serie von zehn *a priori* Für jede der sechs Variablen wurden paarweise Vergleiche berechnet, wobei die reale Bedingung (wirkliches Gehen und ungehindertes natürliches Sehen) als Basis verwendet wurde. Wir haben die Methode von Benjamini-Hochberg verwendet, um die überhöhten Fehlerraten in diesen Vergleichen zu kontrollieren. Von den 60 Vergleichen waren nur 7 nicht signifikant. Wir mussten weiter erforschen.

4.3.3 Korrelation und Aufgabenleistung

Um festzustellen, welche unserer beiden Maßnahmen von könnte besser sein beschreiben Bewegungssteuerungsstrategien, die für die Fortbewegung unter den verschiedenen Schnittstellenbedingungen verwendet werden. Wir haben Korrelationen zwischen das Taskleistungsmaß sowohl für die Spitzengeschwindigkeit als auch für die Spitzenverzögerung berechnet. Abbildung 7 zeigt die Korrelationskoeffizienten für diese beiden kritischen Punkte und den Endabstand.

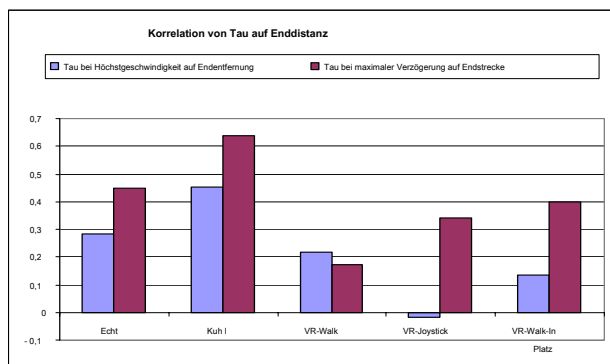


Abbildung 7: Korrelationskoeffizienten des Endabstands bei zwei kritische Punkte.

4.3.4 Paarweise Korrelationen

Um die Beziehungen der Bedingungen besser zu verstehen, haben wir paarweise Korrelationen mit den fünf abhängigen Variablen durchgeführt, die einen Haupteffekt für den Schnittstellentyp zeigen. Die geordneten Ergebnisse für die Spitzengeschwindigkeit, die Spitzenverzögerung und Tau an diesen Punkten sind in Abbildung 8 dargestellt. Die Reihenfolge der Paare auf der Y-Achse ist in den vier Diagrammen nahezu identisch. Die Reihenfolge der Paare, die die Real-Bedingung enthalten, ist konsistent: Real-Cowl> Real-VRW> RealWIP> Real-JS. Die Reihenfolge für die endgültigen Distanzkorrelationen (nicht gezeigt) ist insgesamt etwas anders, einschließlich für die Paare einschließlich Real ist die Reihenfolge:

Real-VRW> Real-Cowl> Real-

JS> Real-WIP.

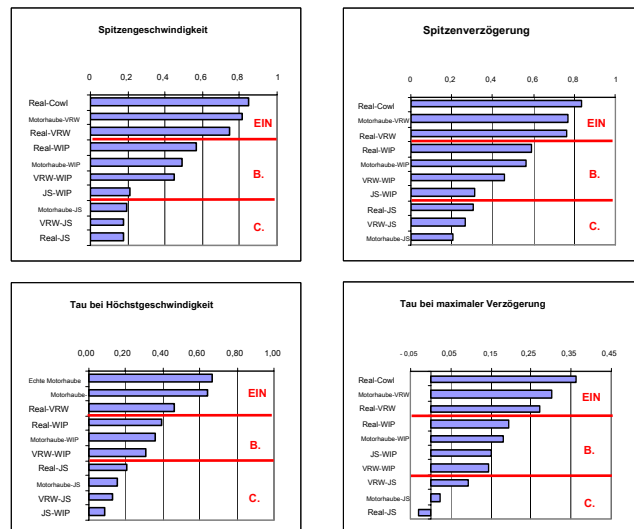


Abbildung 8: Korrelationen abhängiger Variablen durch paarweise genommene Bedingungen. Rote horizontale Linien kennzeichnen Behälter, die auf eine Grobheit hindeuten
Bestellung von Schnittstellen.

4.4 Benutzererfahrung

Die Benutzer bewerteten, mit welcher Schnittstellenbedingung (der Kombination aus Fortbewegungstechnik und Sehbedingung) sie die Aufgabe am besten und mit welcher sie am schlechtesten erledigten. Zwanzig der 32 Teilnehmer gaben an, dass ihre beste Leistung im realen Zustand war; Die anderen Teilnehmer waren über die anderen vier Bedingungen verteilt, wobei jeder zwischen zwei und vier Mal ausgewählt wurde. Benutzer kommentierten:

Das Stirmband [Real] schien am einfachsten zu sein, weil ich volle periphere Sicht hatte ...

Die Scheuklappen / die Motorhaube [Cowl] und das Stirmband [Real] haben meinen Orts- und Körpersinn nicht verändert, so dass ich mit ihnen am besten abschnaide.

Ich glaube nicht, dass der Mangel an peripherer Sicht meine Leistung stark beeinflusst hat. Es hat jedoch die Art und Weise beeinflusst, wie ich mich bewegte, denke ich.

Beim Vergleich der drei VR-Bedingungen kommentierte ein Teilnehmer:

Wenn ich wirklich in VR ging, konnte ich genau auswählen, wie weit ich mich bewegen möchte. so konnte ich mich langsam bewegen, bis ich nur noch ein paar Zentimeter vom Ziel entfernt war. Diese "analoge Steuerung" hat es mir leichter gemacht. Ich dachte auch, dass das Gehen in VR einfacher ist als das Gamepad [JS], weil die Bewegungen natürlicher sind.

Der Joystick wurde von 20 der 32 Teilnehmer als am schlechtesten oder am schlechtesten bewertet. Ein Teilnehmer, der in mindestens einem Teil des Vorjahres eine Spielnutzung von 5 bis 10 Stunden pro Woche gemeldet hatte, stellte seine Einschränkungen fest:

[Der Joystick (JS)] war nicht gut, aber besser als an Ort und Stelle zu gehen [WIP]. Der Joystick ermöglichte weitaus empfindlichere Einstellungen, sobald ich näher kam, aber keine Ausweichfähigkeit.

Von den 18 Personen, die im letzten Jahr mehr als 5 Stunden / Woche Videospielnutzung gemeldet haben, bewerteten nur 3 den Joystick als die Schnittstelle, mit der sie am besten abschnitten.

25 von 32 Teilnehmern gaben an, dass sie im Zustand des Gehens am schlechtesten abschnitten. Die offenen Kommentare und Beobachtungen der Experimentatoren stützen dieses Ergebnis. Wir führen dies auf die Qualität unserer WIP-Schnittstelle zurück. Ein Benutzer kommentierte:

Ich hatte das Gefühl, hier mit meiner Geschwindigkeit und meinem Drehen die geringste Kontrolle zu haben. Vielleicht stampfte ich nicht genug, aber ich hatte das Gefühl, ich konnte mich nicht so bewegen, wie ich es wollte.

Die Teilnehmer wurden auch gebeten, die Schnittstellen nach ihrer Leistung während der Verwendung zu ordnen, von der besten (1) bis zur schlechtesten (5). Die Modalwerte für diese Antworten sind in der mittleren Zeile von Tabelle 1 angegeben. Die untere Zeile gibt die Anzahl der Antworten in diesem Modus an.

Tabelle 1: Modalwerte für die Rangfolge der Bedingungen nach besten bis schlechtesten Leistung und Instanzen dieses Rankings (von insgesamt 32).

Echt	Motorhaube	VRW	JS	WIP
1	2	3	4	5
22 von 32	15 von 32	17 von 32	16 von 32	24 von 32

5 D. ISKUSSION UND C. SCHLUSSFOLGERUNGEN

5.1 Walking-in-Place-Schnittstelle

Die Interpretation unserer Ergebnisse wird durch die Qualität unserer Walk-in-Place-Schnittstelle erschwert. Die WIP-Technik als

Die zum Zeitpunkt dieser Studie implementierte Anwendung war schwierig zu verwenden. Einige Teilnehmer mussten heftig stampfen, um einen Schritt auszulösen. Drehen war schwierig. Wir sehen den Effekt dieser Schwierigkeiten in den relativ großen Varianzen für die prozentuale Zeit der Spitzengeschwindigkeit und der Endentfernung. Schritte, als sie erkannt wurden, führten zu einer Bewegung konstanter Größe in Blickrichtung. Dies stellte eine unnatürliche Einschränkung für die Endentfernung in diesem Zustand dar: Die Benutzer erreichten einen Punkt, von dem aus sie dem Ziel nicht näher kommen konnten, ohne mit ihm zu kollidieren.

Während unsere aktuelle Version von Walk-in-Place keine Empfindlichkeit aufweist, ist die Version, die wir zuvor bei Ush et al. [9] hatten unnatürliche Verzögerungen beim Anhalten und Starten. Die schlechte Darstellung dieser beiden einfachen WIP-Fortbewegungsschnittstellen bedeutet, dass Systementwickler, die WIP verwenden möchten, (1) sie sehr sorgfältig konstruieren und (2) sie gegen echtes Gehen validieren müssen. Das Gaiter-System [22] stellt einen erheblichen Aufwand für die Entwicklung eines WIP-Systems dar, das sowohl natürliche Bewegung als auch natürliche Anstrengung ermöglicht.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Eine bedeutende Herausforderung für die Entwicklung jeglicher Art von Mensch-Computer-Schnittstelle besteht in der Quantifizierung von Leistungszunahmen oder -minderungen, wenn ein Schnittstellendesign einem anderen vorgezogen wird. Wir haben uns entschieden, an einer Schnittstelle zu arbeiten, für die sich die Entwurfsanforderungen erst zu entwickeln beginnen, und haben einen Rahmen geschaffen, innerhalb dessen Metriken mithilfe einer Aufgabe validiert werden können, deren Komplexität im Laufe der Zeit erweitert werden kann.

Wir haben Metriken in drei Kategorien entwickelt: Eigenschaften der Bewegungspfade, Aufgabenleistung und eine explorative Untersuchung der Zeit bis zur Kollision als Maß für die Wirksamkeit der Schnittstelle. Wie in früheren Arbeiten vorgeschlagen, haben wir bei der Untersuchung unserer Ergebnisse nach Mustern in der Reihenfolge der Schnittstellen gesucht.

Bewegungspfadmetriken. Die ANOVAs zeigten, dass zwei der drei Bewegungspfadmetriken, Spitzengeschwindigkeit und Spitzenverzögerung, einen Haupteffekt für den Schnittstellentyp zeigen. Wenn Sie die Ergebnisse paarweiser Korrelationen für diese Daten ordnen (Abbildung 8), ist die Reihenfolge der Paare entlang der Y-Achse für jeden Fall nahezu identisch. Konservativ zeigen diese Ordnungen ähnliche Cluster mit Schnittstellen mit realen Fortbewegungsschnittstellen (Gehschnittstellen) und natürlich

Vision an einem Ende gruppiert und Bedingungen mit weniger natürlichen Fortbewegungsschnittstellen (Walk-in-Place und Joystick) und computergenerierter visueller Eingabe (HMD) am anderen Ende. Die gemischte Oberfläche, echtes Gehen mit HMD-Grafik, liegt dazwischen.

Leistungsmetrik für Aufgaben. Unsere Leistungsmetrik war Final Distance to Target und die ANOVA zeigt einen Haupteffekt für Interface. Für diese Variable ist kleiner besser. Abbildung 5 zeigt eine Reihenfolge der Schnittstellen, die wie oben beschrieben gruppiert sind.

Benutzererfahrung. Die Antworten auf den Benutzerfragebogen, Tabelle 1, unterstützen auch die Reihenfolge der drei Behälter.

Zeit bis zur Kollision . Während die Erforschung der Leistung und Bewegungsmetriken geben Aufschluss darüber, welche Schnittstelle am effektivsten ist. Sie erklären nicht den Mechanismus, durch den Unterschiede in den Metriken entstehen. Ein solches Verständnis würde allgemeine Grundsätze liefern, die Entwicklern helfen, bessere Entwurfsentscheidungen zu treffen. Die Art und Weise, in der visuelle Informationen bereitgestellt werden, und die Art und Weise, in der die Schnittstelle es dem Benutzer ermöglicht, auf solche Informationen zu reagieren, sind wohl kritisch. Folglich könnte sich ein Modell, das eine Beziehung zwischen beiden erfasst, als nützlich erweisen, insbesondere wenn gezeigt werden könnte, dass es sich in irgendeiner Weise auf die Gesamtleistung bezieht.

Frühere Untersuchungen [23] legen nahe, dass das menschliche Nervensystem einfache Bremsmanöver planen kann, indem es den Punkt definiert, an dem das Bremsen beginnt oder an dem Punkt maximaler Verzögerung. Darüber hinaus gibt es Hinweise darauf, dass die Time-to-Contact-Variable, ein indirektes Maß für die Kontrollstrategie, diese Beziehung erfasst, wenn sie bei solchen kritischen Werten berechnet und mit Leistungsmetriken korreliert wird [15, 24]. Wie aus Abbildung 7 hervorgeht, korreliert die Berechnung bei Spitzenverzögerung besser - und erfasst mehr Variabilität - als bei Spitzengeschwindigkeit berechnet und sollte in zukünftigen Forschungen zur Motorsteuerung und -leistung verwendet werden. Endabstand und

bei Spitzenverzögerung nicht

korrelieren besonders gut (Abbildung 7). Wir spekulieren, dass sich die Untersuchung der Anzahl von Kollisionen als Leistungsmetrik für Aufgaben als aufschlussreich erweisen könnte, da Menschen bremsen, um Kollisionen zu vermeiden. Wir haben in dieser Arbeit keine Kollisionsdaten formell gesammelt oder analysiert.

Tabelle 2: Bin, in den jede paarweise Korrelation fällt, wenn Korrelationen grob hoch (Bin A) bis niedrig (Bin C) gruppiert sind. Daten

stammen aus der Spitzenverzögerung in Abbildung 8.

	Visuell Bedingung	Echt	Re- streng- ed FOV	HMD	HMD	HMD
Lok-- Bewegung Bedingung			Real Cowl Walk	VR-	VR- WIP	VR- JS
Gehen	Echt					
Gehen	Motorhaube	EIN				
Gehen	VR-Walk	EIN	EIN			
Reingehen- Platz	VR-WIP	B.	B.	B.		
Joystick	VR-JS	C.	C.	C.	C.	

5.3 Beobachtungen

Die hier dargestellten Daten sind nicht so schlüssig, dass sie eine Grundlage für die Entwurfsrichtlinien darstellen. Aus den Daten in Tabelle 2 können jedoch eine Reihe interessanter Beobachtungen gemacht werden, in denen die Daten für die Spitzengeschwindigkeit aus 8 so umformuliert werden, dass gezeigt wird, welche paarweisen Korrelationen in welchen Behälter fallen.

Wir haben Folgendes beobachtet:

Visuelle Oberfläche - Sichtfeld scheint keine Auswirkung auf die in dieser Studie verwendete Aufgabe zu haben. Wenn der Fortbewegungszustand konstant gehalten wird (Zeilen betrachtet), fallen die Korrelationen für jeden visuellen Zustand in denselben Behälter. Dies ist glaubwürdig, da für diese spezielle Aufgabe nur ein gerader Blick erforderlich war.

Visuelle Schnittstelle - Real oder HMD scheint keine Wirkung zu haben. Wenn wir die Bewegungsschnittstelle konstant halten, stellen wir erneut fest, dass die Daten für die Motorhaube (reales Sehen) und das HMD (computergenerierte visuelle Elemente) in denselben Behälter fallen. Dies ist wiederum verständlich, da die Aufgabe so konzipiert wurde, dass keine hohe Sehschärfe erforderlich ist.

Fortbewegungsschnittstelle. **Sichtzustand konstant halten**
(in Spalten) haben wir beobachtet, dass die Fortbewegungsschnittstelle einen Einfluss auf die Größe der Korrelationswerte hat. In jeder Spalte befinden sich die „realeren“ Fortbewegungsmethoden im A-Bin (hohe Korrelationen) als die weniger natürlichen in den Bins B und C (niedrigere Korrelationen). Diese Daten zeigen, dass die Bewegungen mit Walking-in-Place- und Joystick-Fortbewegung nicht korrelieren gut mit (dh sind nicht wie) Bewegungen beim natürlichen Gehen. Da wir die möglichen Auswirkungen einer Fortbewegungsschnittstelle, die sich vom realen Gehen unterscheidet, noch nicht verstehen, sollte diese Beobachtung den Entwicklern als Warnung dienen: Überlegen Sie sorgfältig, ob es unbeabsichtigte Konsequenzen geben könnte von der Einführung von Walk-in-Place- oder Joystick-Schnittstellen.

6 A. WISSEN

Die Unterstützung für diese Forschung wird oder wurde vom Office of Naval Research und dem Nationalen Institut für biomedizinische Bildgebung und Bioingenieurwesen des NIH sowie vom Nationalen Zentrum für Forschungsressourcen bereitgestellt.

Diese Arbeit wäre ohne die vielen bedeutenden Beiträge von Luv Kohli, Matt McCallus, Christopher Oates und Christopher VanderKnyff nicht abgeschlossen worden. Wir danken auch William Becker von Strategic Analysis, Inc. für die durchdachten Ratschläge, die zur Gestaltung dieser Forschung beigetragen haben.

R. EFERENZEN

- [1] JM Hollerbach, "Locomotion Interfaces", in *Handbuch für virtuelle Umgebungen: Design, Implementierung und Anwendungen*, KM Stanney, Hrsg., Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Asso., 2002, S. 239-254.
- [2] RP Darken, T. Allard und LB Achille, "Räumliche Orientierung und Wegfindung in großen virtuellen Räumen II". *Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen*, vol. 8, S. 3-6, 1999.
- [3] H. Iwata und Y. Yoshida, "Path Reproduction Tests Using a Torus Treadmill", *Gegenwart*, vol. 8, S. 587-597, 1999.
- [4] C. Zambaka, B. Lok, S. Babu, D. Xiao, A. Ulinski und LF Hodges, "Auswirkungen der Reisetchnik auf die Wahrnehmung in der virtuellen Umgebungen " *Verfahren der virtuellen Realität*, 2004. IEEE, 27.-31. März 2004. Seiten: 149 - 286.
- [5] SS Chance, F. Gaunet, AC Beall und JM Loomis, "Der Fortbewegungsmodus beeinflusst die Aktualisierung von Objekten, die während der Reise angetroffen werden: Der Beitrag von vestibulären und propriozeptiven Eingaben zur Pfadintegration". *Gegenwart*, vol. 7, S. 168-178, 1998. [6] SC Grant und LE Magee, "Beiträge der Propriozeption zur Navigation in virtuellen Umgebungen". *Menschliche Faktoren*, vol. 40, S. 489-497, 1998.
- [7] BG Witmer, WJ Sadowski und NM Finkelstein, "VE-basierte Trainingsstrategien für den Erwerb von Umfragewissen".

Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen, vol. 11, S. 1-18, 2002.

[8] M. Slater, M. Usoh und A. Steed, "Schritte unternehmen: Der Einfluss einer Gehtechnik auf die Präsenz in der virtuellen Realität". *ACM-Transaktionen zur Computer-Mensch-Interaktion*, vol. 2, S. 201-219, 1995.

[9] Usoh, Martin, K. Arthur, M. Whitton, A. Steed, M. Slater und F. Brooks, „Gehen> Virtuelles Gehen> Fliegen in virtuellen Umgebungen“ *Verfahren von SIGGRAPH'99* (Los Angeles , CA, 11.-13. August), *Computer Graphics Annual Conference Series*, 1999, S. 359-364.

[10] AH Mason, MA Walji, EJ Lee und CL MacKenzie, "Erreichen von Bewegungen zu erweiterten und grafischen Objekten in virtuellen Umgebungen". *Tagungsband zu Human Factors in Computersystemen* (CHI 2001), Seattle, WA, 2001. [11] JJ Gibson, *Der ökologische Ansatz zur visuellen Wahrnehmung*.

Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1979/1986.

[12] DN Lee und PE Reddish, "Sinkende Tölpel: ein Paradigma der ökologischen Optik". *Natur*, vol. 293, S. 293-294, 1981.

[13] D. Bessemer, J. Boldovici & A. Bolton (2002) *Die Elemente der Trainingsbewertung*, Armeeforschungsinstitut für die Verhaltens- und Sozialwissenschaften, Alexandria, VA.

[14] G. Schoner, "Dynamische Theorie der Handlungswahrnehmungsmuster: Die Zeit vor dem Kontaktparadigma", *Human Movement Science*, vol. 13, S. 415-439, 1994.

[15] P. Foo, JAS Kelso und GC de Guzman, "Funktionelle Stabilisierung instabiler Fixpunkte: Menschlicher Polausgleich mit Zeit zum Ausgleich von Informationen". *Journal of Experimental Psychologie: Menschliche Wahrnehmung und Leistung*, vol. 26, S. 1281-1297, 2000.

[16] DN Lee, "Eine Theorie der visuellen Steuerung des Bremsens basierend auf Informationen über die Zeit bis zur Kollision". *Wahrnehmung*, vol. 5, S. 437-459, 1976.

[17] RA Schmidt, *Motorsteuerung und Lernen*. Champaign, IL: Human Kinetics Books, 1988.

[18] Lee, DN (1980). Visuomotorische Koordination in Raum-Zeit. In GESTelmach & J. Requin (Hrsg.), *Tutorials zum motorischen Verhalten* (S. 281-285), Amsterdam: Nordholland.

[19] Turvey, MT & Carello, C. (1986). "Der ökologische Ansatz zum Wahrnehmen und Handeln." *Ada Psychologica*, **63**, 133-155. [20] Osgood, CE (1949) "Das Ähnlichkeitsparadoxon beim menschlichen Lernen: Eine Lösung" *Psychologie Review* 36: 132-143.

[21] Y. Benjamini, Y. Hochberg (1995). "Kontrolle der Rate falscher Entdeckungen: ein praktischer und leistungsfähiger Ansatz für mehrere Tests", *Zeitschrift der Royal Statistical Society B*, **57** 289-300. [22] Templeman, J., "Leistungsbasiertes Design einer neuen virtuellen Fortbewegungssteuerung", Die Fähigkeit der virtuellen Realität, militärische Anforderungen zu erfüllen: Vorträge, die auf dem Workshop des RTO Human Factors and Medicine Panel (HFM) in Orlando, Florida, vorgestellt wurden.

1997.

[23] Cohn, JV & Kelso, JAS (1999). "Wenn Sie Ihren Finger zur richtigen Zeit an den richtigen Ort bringen." *Verfahren von 1999 Konferenz der Nordamerikanischen Gesellschaft für Psychologie des Sports und der körperlichen Aktivität*, St. Petersburg, FL

[24] Treffher, PJ & Kelso, JAS (1995). "Funktionelle Stabilisierung instabiler Fixpunkte." In B. Bardy, R. Bootsma & Y. Guiard (Hrsg.), *Studien in Wahrnehmung und Handeln*, S. 83-86. Hillsdale, NJ: Erlbaum.