

Diskussionen, Statistiken und Autorenprofile für diese Veröffentlichung finden Sie unter: <https://www.researchgate.net/publication/242644199>

Das virtuelle Laufband: ANaturalistische Metapher für die Navigation in immersiven virtuellen Umgebungen

Artikel · Januar 1995

DOI: 10.1007 / 978-3-7091-9433-1_12

ZITATE

98

LESEN

627

3 Autoren , einschließlich:



Mel Slater

Universität von Barcelona

509 VERÖFFENTLICHUNGEN 29.610 ZITATE

SIEHE PROFIL



Anthony Steed

University College London

226 VERÖFFENTLICHUNGEN 5.576 ZITATE

SIEHE PROFIL

Einige der Autoren dieser Veröffentlichung arbeiten auch an diesen verwandten Projekten:



Beleuchtungsmodellierung aus realen Szeneninhalten [Projekt ansehen](#)



Eintauchen, Präsenz und Leistung in virtuellen Umgebungen [Projekt ansehen](#)

**Das virtuelle Laufband:
Eine naturalistische Metapher für die Navigation in
Immersive virtuelle Umgebungen**

Mel Slater, Anthony Steed und Martin Usoh,
Institut für Informatik und London Parallel
Applications Centre,
QMW Universität London,
Mile End Road,
London E1 4NS UK.

ABSTRAKT

Dieses Papier beschreibt eine Metapher, die es Menschen ermöglicht, sich in einer immersiven virtuellen Umgebung zu bewegen, indem sie "vor Ort gehen". Positionsdaten der Kopfbewegungen der Teilnehmer werden von einem Tracking-Sensor auf einem am Kopf montierten Display während einer Trainingseinheit abgerufen, wo sie zwischen dem Gehen vor Ort und einer Reihe anderer Aktivitäten wechseln. Die Daten werden verwendet, um ein Feed-Forward-Neuronales Netzwerk zu trainieren, das lernt, das Verhalten der Person vor Ort zu erkennen. Dies wird in einem Virtual-Reality-System verwendet, um es Menschen zu ermöglichen, sich durch die virtuelle Umgebung zu bewegen, indem die Arten von kinästhetischen Aktionen und sensorischen Wahrnehmungen simuliert werden, die beim Gehen auftreten. Es wurde ein Experiment durchgeführt, um diese Navigationsmethode mit der bekannten Alternative zu vergleichen, bei der ein tragbares Zeigegerät wie eine 3D-Maus verwendet wird. Das Experiment,

Schlüsselwörter

Immersive virtuelle Umgebungen, virtuelle Realität, Navigation, 3D-Maus, neuronales Netzwerk.

1. Einleitung

In Immersive Virtual Environments (IVEs), die üblicherweise als "virtuelle Realität" bezeichnet werden, arbeiten die Teilnehmer in einem erweiterten virtuellen Raum, der durch die Interaktion zwischen dem menschlichen Wahrnehmungssystem und computergenerierten Anzeigen entsteht. Die Displays liefern sensorische Informationen in den visuellen, akustischen und taktischen Modalitäten. Im *Immersiv* Die sensorischen Eingaben von VEs (IVEs) an den Menschen aus der Außenwelt werden im Idealfall vollständig von den computergenerierten Anzeigen bereitgestellt. Dies bietet den Teilnehmern die Möglichkeit, ein *Gefühl der Präsenz* in der VE ist dies die (Aufhebung des) Glaubens, dass sie sich in einer anderen Welt befinden als dort, wo sich ihre realen Körper befinden [ELLI 91; HELD 92; LOOM 92a; SHER 92; HEET 92]. Präsenz ist die einzigartige Möglichkeit, die IVEs bieten: So wie Computer Allzweckmaschinen sind, können IVEs als Allzweck-Präsenztransformationsmaschinen betrachtet werden. Wir vertreten den gleichen Standpunkt wie Steuer, wenn es darum geht, Präsenz als zentrales Thema in der "virtuellen Realität" zu betrachten: "Eine virtuelle Realität ist definiert als eine reale oder simulierte Umgebung, in der ein Wahrnehmender Telepräsenz erfährt" [STEU 92].

Ein Hauptmerkmal von IVEs ist, dass diese Form der Mensch-Computer-Interaktion "naturalistisch" sein kann, wobei der Teilnehmer Aktivitäten ähnlich wie im Alltag ausführt. Wenn das IVE in einem Trainingskontext verwendet wird, ist eine solche naturalistische Form der Interaktion eine absolute Voraussetzung: In diesem Fall müssen die Operationen innerhalb des IVE der realen Welt ähnlich genug sein, damit das Lernen in der virtuellen Umgebung möglich ist Transfer in die reale Welt. In diesem Punkt hat Loomis dies vorgeschlagen

der Grad der Präsenz und der distalen Zuschreibung¹ könnte anhand des Genauigkeitsgrades bewertet werden, den Beobachter in virtuellen Umgebungen im Vergleich zu realen Umgebungen visuell gerichtete Aufgaben ausführen können, die die Wahrnehmung von Entfernung erfordern [LOOM 92b].

In der Praxis wird die naturalistische Interaktion durch die normalerweise begrenzten Verfolgungsinformationen erschwert, die mit der heutigen Ausrüstung möglich sind - normalerweise nur vom Kopf und der dominanten Hand. Elektromagnetische Sensoren arbeiten in einem kleinen Feld, so dass es den Teilnehmern nicht möglich ist, durch physisches Gehen durch ein großes VE zu wandern, es sei denn, es gibt speziell für diesen Zweck entwickelte Systeme wie Rollschuhe [IWAT 92] oder ein Laufband [BROO 92]. Im Allgemeinen bedeutet die Lücke zwischen den erforderlichen Aktionen (z. B. Navigation über große Entfernungen) und den verfügbaren Sensorinformationen, dass wie bei 2D-Schnittstellen Metaphern erforderlich sind.

Mackinlay et. al. [MACK 90] wies darauf hin, dass für die Navigation in virtuellen Räumen vier Anforderungen berücksichtigt werden müssen:

- (a) Allgemeines - zum Beispiel Erkundung eines Gebäudeinneren; (b) Zielgerichtet - das heißt, auf einen bestimmten sichtbaren Punkt zielen;
- (c) Angegebene Koordinate - dh Bewegen zu einem Punkt, der relativ zu einem Koordinatensystem angegeben ist;
- (d) Spezifizierte Flugbahn - dh Bewegung entlang einer Positions- und Orientierungsbahn wie bei einer Filmkamera.

In diesem Artikel betrachten wir hauptsächlich Fall (a) - das heißt, eine Metapher für die Navigation durch eine Umgebung, ohne ein bestimmtes Ziel oder einen bestimmten Ort im Auge zu haben, aber gemäß den vorübergehenden und sich ändernden Launen des Navigators. Unsere Arbeit ist ein Beitrag zu einem Projekt, das an der Konstruktion eines Systems für die architektonische exemplarische Vorgehensweise beteiligt ist, bei dem Architekten und ihre Kunden durch ein virtuelles Gebäudeinnere navigieren und Änderungen vornehmen können.

Frühere Untersuchungen konzentrierten sich auf Metaphern im Zusammenhang mit der Navigation in 3D-VEs, die über eine 2D-Anzeige mit 2D-Eingabegeräten oder Eingabegeräten mit sechs Freiheitsgraden wie der Flying Mouse [WARE 90] betrachtet wurden. Drei Metaphern für die Navigation wurden von Ware et. al.:

- (1) Augapfel in der Hand - wobei der Blickwinkel direkt durch die Bewegungen und die Ausrichtung des Eingabegeräts gesteuert wird;
- (2) Szene in der Hand - wenn der Blickwinkel stationär ist und Bewegungen der Szene durch die Bewegungen und die Ausrichtung des Eingabegeräts gesteuert werden;
- (3) fliegende Fahrzeugsteuerung - wobei der Benutzer in einem virtuellen Fahrzeug fliegt und das Eingabegerät der Fahrzeugsteuerungsmechanismus ist, der beispielsweise die Beschleunigung und Geschwindigkeit steuert, jedoch nicht direkt die absolute Positionierung.

Hier interessieren wir uns für "naturalistische" Interaktion, daher schließen wir aus (2): Unsere Anforderung ist, dass die Teilnehmer in der Lage sind, durch die VE zu wandern und durch ihre "virtuellen Augen" zu sehen, die sich mehr oder weniger an der normalen Stelle in ihrer Umgebung befinden Köpfe. Mit "naturalistisch" meinen wir in diesem Zusammenhang, dass sich die Teilnehmer auf ähnliche Weise durch den virtuellen Raum bewegen können, wie sie es in der alltäglichen Realität tun würden.

In Abschnitt 2 diskutieren wir kurz verschiedene Methoden, die zuvor angewendet wurden. In Abschnitt 3 skizzieren wir den neuen Ansatz, in Abschnitt 4 eine Diskussion einiger experimenteller Ergebnisse und Schlussfolgerungen in Abschnitt 5.

2. Navigieren in IVEs

¹Zuordnung der Objekte unserer Sinneswahrnehmungen zur Außenwelt oder zum Nicht-Selbst.

Eine Standardlösung für die Navigation in IVEs ist die Verwendung des tragbaren Zeigergeräts.

VPL verwendete den DataGlove [FOLE 87]: Eine Handbewegung würde eine Bewegung einleiten, und die Bewegungsrichtung würde durch die Zeigerichtung gesteuert. Die Geschwindigkeit wurde als Teil der Geste gesteuert: Je kleiner beispielsweise der Winkel zwischen Daumen und erstem Finger ist, desto größer ist die Geschwindigkeit.

Das ProVision-System von DIVISION verwendet normalerweise eine 3D-Maus (obwohl es auch Handschuhe unterstützt). Hier wird die Bewegungsrichtung durch den Blick bestimmt, und die Bewegung wird verursacht, wenn der Benutzer eine Maustaste drückt. Es gibt zwei Fahrgeschwindigkeiten, die durch eine Kombination von Tastendrücken gesteuert werden.

In einem früheren Experiment [SLAT 93a; SLAT 93b] Wir haben die Standardschnittstelle von ProVision angepasst und die Bewegungsrichtung auf die Zeigerichtung der 3D-Maus abgestimmt. Diese Trennung von Blick und Bewegungsrichtung gibt dem Teilnehmer einen zusätzlichen Freiheitsgrad bei der Erkundung der VE. Wir hatten jedoch immer noch keine direkte Kontrolle über die Geschwindigkeit; Dies macht eine genaue Navigation ziemlich schwierig, da Menschen häufig Ziele überschießen oder unterschreiten.

In unseren früheren Studien haben wir festgestellt, dass die 3D-Maus zwar schnell als Navigationsgerät verwendet wurde, aber alles andere als ideal war. Wir fanden heraus, dass diese Verwendung der Maus eine "gemischte Metapher" einführte - Probanden in den Experimenten bewegten sich teilweise, indem sie ihren Körper auf normale Weise verwendeten, und teilweise, indem sie das Zeigergerät verwendeten. Zwei der Themen schrieben:

"Manchmal hatte ich das verzweifelte Bedürfnis, tatsächlich zu gehen, wenn ich virtuell gehe. Es scheint einen Konflikt zwischen dem, was die Augen sehen und dem Körper fühlen, zu geben. ZB scheinen meine Füße zu schweben, aber ich kann meine Füße auf dem Boden fühlen." . "

"Der Versuch, virtuelle und physische Bewegung zu trennen: ständig bewusst zu sein - meine erste Reaktion war, die physische Bewegung zu machen und mich dann zu zwingen, stattdessen die Maus zu benutzen ... Die Konzentration, die ich verwenden musste, war etwas, an das ich mich besonders erinnere Mit der Maus vorwärts und rückwärts - und mit dem Helm umgedreht - war es schwierig, die beiden Bewegungsarten miteinander in Einklang zu bringen. "

Hier gibt es wichtige Probleme:

- sensorische Dissonanz - ein Widerspruch zwischen verschiedenen Arten sensorischer Daten (visuell und kinästhetisch);
- Die Teilnehmer bewegen sich auf zwei ganz unterschiedliche Arten: indem sie ihren Körper tatsächlich so bewegen, wie sie es im wirklichen Leben tun würden - zum Beispiel um sich über kurze Strecken zu bewegen - oder alternativ per Knopfdruck, wobei die Richtung durch Zeigen gesteuert wird.

In jeder der oben diskutierten Methoden gibt es keine explizite Metapher, die dem Teilnehmer gegeben wird. Langjährige Forschungen zur Mensch-Computer-Interaktion im Kontext von Point-and-Click-Schnittstellen auf Workstations haben deutlich gemacht, dass solche Metaphern von unschätzbarem Wert sind [SHNE 87].

Es gibt einige vereinzelte Hinweise darauf, dass die Navigation durch Zeigen und Drücken der Taste das Präsenzgefühl des Teilnehmers im IVE verringern kann. In einem unserer Experimente standen die Probanden beispielsweise am Rand eines Abgrunds. Einige von ihnen stellten fest, dass sie aufgrund ihrer Höhenangst nicht in der Lage waren, sich physisch vorwärts zu bewegen, indem sie tatsächlich einen Schritt machten. Sie konnten sich jedoch durch Drücken der Maustaste vorwärts bewegen. Ein anderes Subjekt bemerkte, dass er nicht durch das Bewegen in und durch Wände gestört wurde, wenn dies durch die Verwendung der 3D-Maus verursacht wurde. Er war jedoch gestört, als er den Knopf drückte, um sich vorwärts zu bewegen, während er gleichzeitig seine Beine benutzte, als würde er tatsächlich gehen. In diesem Fall fand er das Betreten von Wänden "beängstigend". Allgemein,

Kontext des architektonischen Durchgangs [SLAT 93a]. Im nächsten Abschnitt stellen wir eine Metapher vor, die versucht, diese Probleme zu lösen.

3. Metapher für die Navigation

Brooks [BROO 92] bemerkte, dass "körperliche Bewegung die Illusion von Präsenz stark unterstützt und das tatsächliche Gehen es einem ermöglicht, kinästhetisch zu fühlen, wie groß Räume sind ..." Im Rahmen des Building Walkthrough-Projekts an der University of North Carolina, einem lenkbaren Laufband wurde so konstruiert, dass Benutzer tatsächlich das Gehen durch virtuelle Gebäude und Baustellen erleben konnten. Hier untersuchen wir eine ähnliche Idee, die eher in Software als in einem echten physischen Laufband implementiert ist.

3.1 Das Unmögliche tun

In gewissem Sinne ist das, was wir versuchen, wirklich unmöglich. Wir haben die folgenden Informationen: zu jedem Zeitpunkt die Position (x , y , z) des am Kopf montierten Sensors relativ zu einem Koordinatensystem mit Ursprung am Empfänger und den Richtungsvektor (dx , dy , dz) des Blicks. Mit diesen beiden Informationen versuchen wir, ein Navigationssystem aufzubauen, das:

- ermöglicht dem Navigator, überall (in Bodennähe) in der VE zu fahren (für den Moment, in dem wir das Fliegen ausschließen);
- ist über alle Sinne hinweg konsistent - damit das, was der Navigator sieht, anderen sensorischen Eingaben nicht widerspricht (dies ist mit heutigen IVE-Systemen natürlich nicht vollständig möglich);
- ist integriert - erfordert kein Umschalten zwischen verschiedenen Metaphern.

3.2 Lassen Sie ThemWalk

Wenn wir möchten, dass die Menschen in der Umgebung navigieren können, lassen Sie sie laufen. Hier läuft die Metapher - passend zu einer architektonischen Komplettanwendung. Sie können jedoch nicht buchstäblich gehen, da dies sie außerhalb der Sensorreichweite führen würde. Lassen Sie sie stattdessen "an Ort und Stelle gehen". Die Metapher lautet also: Wenn die Teilnehmer irgendwohin gehen, bleiben sie an Ort und Stelle, führen aber Aktionen aus, die für sie das Gehen bedeuten - z. B. ein Bein anheben und dann das andere, das an das Gehen erinnert, aber nicht tatsächlich die Distanz zurücklegt echte Welt. Die Gehrichtung kann eine Funktion der Blickrichtung sein. Um aufzuhören zu gehen - hören Sie einfach auf der Stelle auf zu gehen. Die Geschwindigkeit könnte durch die Frequenz der Schwingungen in den Verfolgsdaten gesteuert werden.

Die Vorteile dieser Metapher sind:

- (a) Unser System präsentiert den Teilnehmern einen virtuellen Körper. Während sie gehen, zeigen wir auch, wie sich ihre Beine auf und ab bewegen. Daher könnte das Problem der sensorischen Dissonanz verringert werden.
- (b) Virtueller Boden wird in dieser Metapher durch fast wirkliches Gehen oder durch ein oder zwei tatsächliche physische Schritte abgedeckt: Jeder Fall beinhaltet Ganzkörperbewegungen, die denen des Gehens in der alltäglichen Realität ähnlich sind. Vergleichen Sie dies mit der üblichen Methode, die sich manchmal durch Gehen und manchmal mit einer Maus oder einem Handschuh bewegt.
- (c) Bei dieser Navigationsmethode wird ein tragbares Zeigergerät wie Maus oder Handschuh überhaupt nicht verwendet. Es ist daher weniger eine Metapher für "Computerschnittstellen".

Andere Metaphern, die auf dem Zeigergerät beruhen (z. B. die Steuerung von fliegenden Fahrzeugen), sind nicht ausgeschlossen.

Der Nachteil ist - wie üblich -, dass die relative Raffinesse der Metapher auf Kosten einer zusätzlichen Berechnung geht und die Verzögerungszeit geringfügig erhöhen kann. In unserer aktuellen Implementierung der von uns verwendeten Geräte ist dies jedoch überhaupt nicht aufgefallen. Tatsächlich gibt es beim Gehen in der alltäglichen Realität eine Verzögerungszeit zwischen der Absicht zu gehen, dem ersten Bewegen der Beine und der tatsächlichen Veränderung des Blickwinkels.

3.3 Implementierung des neuronalen Netzes

Die Methode erfordert die Erkennung spezifischer Verhaltensaktivitäten der Teilnehmer - das heißt, ob sie vor Ort gehen oder etwas anderes tun. Eine offensichtliche Lösung für dieses Problem besteht darin, mehr Tracker zu verwenden, mindestens einen auf jedem Bein. Dies ist jedoch in der Regel aus mehreren Gründen nicht möglich:

- Kosten in Bezug auf die zusätzlich erforderlichen Tracker;
- Kosten in Bezug auf zwei zusätzliche zu verarbeitende Datenströme, wodurch auch die Netzwerkgeschwindigkeit des Gesamtsystems verlangsamt wird;
- die zusätzliche Belastung für die Teilnehmer, sich vor dem Eintritt in das IVE "anzuziehen".

Wenn es möglich ist, diese Verhaltensaktivität ohne zusätzliche Tracker effizient zu bestimmen, muss dies sicherlich vorzuziehen sein.

Wir haben ein Feed-Forward-Neuronales Netz [HERT 91] verwendet, um einen Mustererkenner zu implementieren, der erkennt, ob die Teilnehmer "vor Ort gehen" oder dies tun etwas anderes. Der HMD-Tracker liefert einen Strom von Positionswerten (x_{ich} , y_{ich} , z_{ich})

woraus wir erste Differenzen berechnen (Δx_{ich} , Δy_{ich} , Δz_{ich}). Wir wählen eine feste Stichprobe von Daten $i = 1, 2, \dots, n$, und die entsprechenden Delta-Koordinaten werden in die untere Schicht des Netzes eingegeben, so dass sich in der unteren Schicht $3n$ Einheiten befinden. Es gibt zwei Zwischenschichten von m_1 und m_2 versteckte Einheiten ($m_1 \leq m_2$), und die oberste Schicht besteht aus einer einzelnen Einheit, die entweder 1 entsprechend "Gehen auf der Stelle" oder 0 ausgibt für alles andere. Wir erhalten Trainingsdaten von einer Person, anhand derer die Gewichte für das Netz berechnet werden. Das Netzwerk wird dann auf der ProVision200-Maschine ausgeführt, die wir für alle unsere Experimente verwenden.

Nach dem Experimentieren mit einer Reihe von Netzen haben wir festgestellt, dass ein Wert von $n = 20$, $m_1 = 5$ und $m_2 = 10$ ergibt gute Ergebnisse. Wir haben von keinem Netzwerk eine 100% ige Genauigkeit erhalten, und dies wäre nicht zu erwarten. Es gibt zwei mögliche Arten von Fehler, der Fehlern des Typs I und des Typs II bei statistischen Tests entspricht, bei denen die Nullhypothese als "die Person geht nicht auf der Stelle" angenommen wird. Das Netz kann vorhersagen, dass die Person geht, wenn sie nicht geht (Fehler Typ I), oder kann vorhersagen, dass die Person nicht geht, wenn sie geht (Fehler Typ II). Der Typ-I-Fehler ist derjenige, der die meisten Verwirrung bei den Menschen verursacht und der am schwierigsten zu beheben ist - in dem Sinne, dass es fast unmöglich ist, "wenn sie einmal unfreiwillig von ihrem gewünschten Standort entfernt wurden". rückgängig machen "dies. Daher haben sich unsere Bemühungen darauf konzentriert, diese Art von Fehlern zu reduzieren. Wir verwenden die Ausgabe des Netzes nicht direkt, sondern wechseln nur von Nichtbewegen zu Bewegen, wenn eine Folge von p 1s beobachtet wird, und von Bewegen zu Nichtbewegen, wenn eine Folge von q 0s beobachtet wird ($q < p$). In der Praxis haben wir $p = 4$ und $q = 2$ verwendet. Das beste Ergebnis, das wir erhalten haben, ist in 97% der Fälle eine korrekte Vorhersage. Der Typ I-Fehler liegt normalerweise bei 4% und der Typ II-Fehler bei 5%. Im Zusammenhang mit dem zu beschreibenden Experiment, bei dem wir weniger Zeit mit dem Sammeln von Daten und weniger mit dem Trainieren des Netzes verbracht haben, haben wir jedoch keine so guten Ergebnisse erzielt. Es ist wahrscheinlich, dass sich die Ergebnisse mit einer weiteren Untersuchung der Trainingsmethode für das neuronale Netz verbessern werden.

Das von uns verwendete Polhemus Isotrak-Tracking-Gerät gibt tatsächlich Daten mit einer Rate von 28 bis 30 Hz an die Anwendung zurück. Der Gesamtfehler wird größtenteils dadurch verursacht, dass die tatsächliche Ausgabe am Ende jeder Sequenz von 1s oder 0s um typischerweise 5 Abtastwerte hinter der tatsächlichen Ausgabe zurückbleibt.

4. Experimente mit Teilnehmern

4.1 Experimentelle Verfahren

In diesem Abschnitt beschreiben wir eine laufende experimentelle Fall-Kontroll-Studie. Das Experiment hat drei Zwecke:

(a) Beurteilung, inwieweit das neuronale Netz das Gehverhalten von Personen lernen kann;

(b) um zu beurteilen, ob im Kontext des experimentellen Szenarios die Metapher des Gehens von Probanden der Methode vorgezogen wird, die auf der Navigation unter Verwendung von Handgesten und Zeigen basiert;

(c) Bewertung des Einflusses der Laufmetapher auf das gemeldete Gefühl der Anwesenheit der Probanden.

Die Versuchspersonen werden hauptsächlich über informelle Kontakte rekrutiert, indem sie gefragt werden, ob sie an einer "Virtual Reality" -Erfahrung teilnehmen möchten. Die meisten Teilnehmer sind Postgraduierte oder Forscher, die nicht in der Informatik tätig sind, und alle bis auf einen haben die virtuelle Realität noch nie erlebt.

Die in diesem Dokument beschriebenen Experimente wurden auf einem DIVISION ProVision200-System durchgeführt. Das ProVision-System besteht aus einer DIVISION 3D-Maus (einem tragbaren Eingabegerät) und einem Virtual Research Flight Helmet [™] als Head Mounted Display (HMD). Polhemus-Sensoren wurden zur Positionsverfolgung von Kopf und Maus verwendet. Das Rendern von Szenen wird mit einem Intel i860-Mikroprozessor (einer pro Auge) durchgeführt, um ein RGB-RS-170-Videosignal zu erstellen, das einem internen NTSC-Videocodierer und dann den Displays des Flight Helmet [™] zugeführt wird. Diese Anzeigen (für die linke Seite

und rechtes Auge) sind Farb-LCDs mit einer 360 × 240 Auflösung und das HMD bietet ein Sichtfeld von etwa 75 Grad entlang der Horizontalen mit einem daraus resultierenden Verlust der peripheren Sicht.

Jede Person ist eingeladen, abwechselnd "vor Ort zu gehen" und andere Aktivitäten für einen zehnmündigen Datenerfassungsprozess durchzuführen. Diese Daten werden verwendet, um ein neuronales Netz zu trainieren, um das Verhalten "Gehen vor Ort" zu erkennen, das von Person zu Person unterschiedlich ist. Während des Gehens vor Ort bewegen manche Menschen ihren Kopf viel mehr als andere. Offensichtlich benötigt das Netz mehr Daten für diejenigen, die ihren Kopf leicht bewegen, als für diejenigen, die ihren Kopf viel bewegen. In diesem Zeitraum wird auch die durchschnittliche Schrittlänge der Probanden in der Realität gemessen. Dies wird verwendet, um die Entfernung anzupassen, um die sie sich vorwärts bewegen, für jeden Schritt des "Gehens vor Ort". Die Probanden werden einige Tage später zum Hauptteil des Experiments zurück eingeladen.

Jedes Thema erhält zunächst eine kurze Beschreibung der Verfahren, einschließlich einer Warnung, dass die virtuelle Realität bei manchen Menschen zu Symptomen führt, die der Reisekrankheit ähneln. Sie haben die Möglichkeit, sich vor Beginn des Experiments zurückzuziehen. Von den zehn Personen, die wir zum Zeitpunkt des Schreibens in Betracht gezogen haben, hat sich eine wegen dieser Warnung zurückgezogen. ²

² In früheren Experimenten haben wir eine solche Warnung nicht gegeben, da die bloße Warnung der Menschen vor der Möglichkeit das Ergebnis hervorrufen kann. Wir sind jedoch zu der Überzeugung gelangt, dass es unethisch ist, Menschen ohne vorherige Warnung dieser Möglichkeit auszusetzen.

Das experimentelle Szenario besteht aus einem Korridor mit einem Raum an beiden Enden. Der erste Raum enthält viele Blöcke, die auf dem Boden liegen, und einen kleinen roten Würfel am Ende des Raums, der am weitesten von der Tür entfernt ist. Der zweite Raum am anderen Ende des Korridors befindet sich auf zwei Ebenen. Die Hauptebene befindet sich auf normaler Bodenhöhe, endet jedoch an einer Kante bis zu einem tiefen Abfall zu einer niedrigeren Ebene, die einige Tische und Stühle enthält. Darüber hinaus befindet sich ein einziger blauer Stuhl an einer Wand im Erdgeschoss über dem Abgrund des Raums. Es gibt eine Planke, die vom Erdgeschoss zu diesem Stuhl führt, aber das Ende der Planke ist zu weit vom hängenden blauen Stuhl entfernt, als dass jemand ihn erreichen könnte.

Nach dem Betreten des IVE werden die Probanden zuerst in den Korridor gestellt und erhalten eine kurze Schulungssitzung. Ihnen wird gezeigt, wie man sich durch die Umgebung bewegt und wie man ein Objekt aufnimmt. Alle Probanden halten die DIVISION 3D-Maus in der rechten Hand. Dies wird wie eine Waffe gehalten - es hat vier Knöpfe, von denen höchstens zwei im Experiment verwendet werden. Mit dem Zeigefingerknopf, der dem Abzug einer Waffe entspricht, wird ein Objekt ausgewählt und angehoben. Der Daumenknopf befindet sich nach der Analogie einer Waffe in der Position des Hammers. Durch Drücken dieser Daumentaste werden die Teilnehmer durch die Szene in Bodennähe in die Richtung bewegt, in die ihre Hand zeigte. Alle anderen Tasten sind deaktiviert.

Alle Probanden sahen eine Darstellung ihrer Hand, und die Aktivierung der Tasten durch Daumen und ersten Finger spiegelte sich in den Bewegungen ihrer entsprechenden virtuellen Finger wider. Die Hand war an einem Arm befestigt, der als Reaktion auf ähnliche Bewegungen des realen Arms und Handgelenks gebogen und gedreht werden konnte. Der Arm war mit einer ganzen einfachen Körperdarstellung verbunden, komplett mit Beinen und linkem Arm. Der virtuelle Körper scheint ein wichtiger Faktor für die Verbesserung des Präsenzgefühls zu sein [SLAT 93a, 93b] und wurde daher für alle Probanden berücksichtigt.

Während der Trainingseinheit werden die Probanden gebeten, die Abstände zwischen zwei Linienpaaren, zwei roten Linien und zwei blauen Linien zu schätzen. Sie gehen dann zur Tür, die zum ersten Raum führt, und die Aufgabe für den Rest des Experiments wird erklärt. Gehen Sie zu dem kleinen roten Würfel am anderen Ende des Raums, nehmen Sie ihn auf, bringen Sie ihn in den Raum am anderen Ende des Korridors und legen Sie ihn auf den blauen Stuhl. (Zu diesem Zeitpunkt haben die Probanden in keinem der Räume etwas gesehen).

Die Probanden werden zufällig einer Kontroll- oder Versuchsgruppe zugeordnet. Diejenigen in der Kontrollgruppe bewegen sich mit dem Mauswerkzeug durch die Umgebung: Das heißt, sie bewegen sich durch Drücken der Daumentaste und bewegen sich in Richtung des Zeigens. Diejenigen in der Versuchsgruppe bewegen sich, indem sie "vor Ort gehen". Die Bewegungsrichtung wird durch den Blick bestimmt. (Den Probanden wird nicht ausdrücklich gesagt, dass die Richtung durch den Blick bestimmt wird, aber alle haben dies sofort erkannt).

Die Probanden wiederholen die Aufgabe zweimal. Diejenigen in der Kontrollgruppe führen die Aufgabe zuerst mit der Maus-Bewegungsmethode aus. Sie verlassen dann das IVE und erhalten Teil I eines Fragebogens zur Beantwortung. Nach einigen Minuten kehren sie zurück und wiederholen das Experiment mit der Methode des Gehens vor Ort. Anschließend füllen sie Teil II des Fragebogens aus, in dem sie aufgefordert werden, die beiden Erfahrungen anhand einer Reihe von Kriterien zu vergleichen. Diejenigen in der Versuchsgruppe tun dasselbe, außer dass ihre erste Erfahrung darin besteht, vor Ort zu gehen, und die zweite darin, die Maus zu benutzen. Sie beantworten genau die gleichen Fragebögen. Beachten Sie, dass jeder Proband nach seiner ersten Eingabe nur eine Methode richtig erlebt hat - die Kontrollgruppe mit der Maus und die Versuchsgruppe, die vor Ort geht.

Das Hauptproblem bei diesen Verfahren bestand darin, dass das Netzwerk für einen Teil der der Versuchsgruppe zugewiesenen Probanden ineffektiv war. Hierfür gab es einen Fallback: Wir haben ein "Standard" -Netzwerk, das viele Gelegenheitsbesucher des Labors nutzen können, ohne dass ein Netz erforderlich ist, das für ihren persönlichen Gehstil geschult ist. Wenn ihr persönliches Netzwerk für ein Thema nicht funktioniert hat, haben wir sie mit dem Standardnetzwerk ausprobiert. Wenn dies nicht funktionierte, beendeten sie nur die Kontrollhälfte des Experiments.

4.2 Ergebnisse mit dem Neuronalen Netz

Zum Zeitpunkt des Schreibens wurden 10 Themen berücksichtigt. Von diesen zog man sich vor Beginn des Experiments zurück. Fünf der verbleibenden neun konnten sich bewegen, indem sie mit ihren persönlichen Netzen auf der Stelle gingen, und ein anderer konnte sich nicht mit dem persönlichen Netz bewegen, nutzte jedoch das "Standard" -Netz erfolgreich. Die restlichen drei konnten sich mit ihrem persönlichen oder Standardnetz überhaupt nicht bewegen.

Durch Beobachtung während der Experimente stellten wir fest, dass wir bei unseren anfänglichen Datenerfassungsverfahren die Probanden nicht aufforderten, zu gehen, während wir auf verschiedene Höhen blickten. Dies führte dazu, dass einige der Netze Fälle für Probanden bevorzugten, die nur in eine bestimmte Richtung blickten. Wir verschärfen dieses Datenerfassungsverfahren.

Ein Proband konnte sich weder durch Gehen auf der Stelle noch mit der Maus erfolgreich bewegen. Im Laufe des vergangenen Jahres haben wahrscheinlich mehr als 50 Personen unser System mit der Maus für die Navigation erlebt, und jeder konnte diese Navigationsmethode verwenden. Wir haben uns daher entschlossen, diese Person aus dem Experiment auszuschließen, da sie in dieser Hinsicht im Vergleich zur Norm so ungewöhnlich ist.

Tabelle 1 zeigt die Leistung der persönlichen Netze über die Probanden hinweg nur basierend auf den Trainingsdaten.

Tabelle 1
Leistung des persönlichen Netzes basierend auf Trainingsdaten

Betreff-ID	Insgesamt Leistung%	Typ I Fehler%	Typ II Fehler%	Persönliches Netz könnte verwendet werden?
1	94	6	5	Ja
2	90	10	8	Ja
3	92	11	2	Ja
4	93	9	5	Nein (Standardnetz verwendet OK)
5	93	11	3	Ja
6	91	15	3	Nein
7	85	10	12	Nein
8	87	20	4	Nein (konnte nicht verwenden Maus entweder)
9	94	7	3	zog sich zurück
10	92	7	10	Ja

4.3 Ergebnisse zur Navigation

Teil I des Fragebogens enthielt drei Fragen zur Navigation, die über den gesamten Fragebogen verteilt waren. Es gab 4 Kontrollpersonen und 4 Versuchspersonen, und die Ergebnisse sind in Tabelle 2 gezeigt.

Wir interessierten uns für drei Aspekte der Navigation: den allgemeinen Prozess des Bewegens, die Aufgabe, spezifisch von einem Ort zum anderen zu gelangen, und ob der Prozess "natürlich" schien oder nicht. Offensichtlich können wir mit einem so kleinen Datensatz zum Zeitpunkt des Schreibens keine statistischen Tests durchführen oder zu festen Schlussfolgerungen kommen. Wir können jedoch beobachten, dass diejenigen, die sich durch das Gehen auf der Stelle durch die Welt bewegten, es nach allen drei Kriterien im Allgemeinen etwas einfacher fanden, etwas einfacher von Ort zu Ort zu gelangen und vielleicht etwas "natürlicher". Dies sind die Ergebnisse unmittelbar nach dem ersten Teil des Experiments. Es gab nur sechs Probanden, die beide Teile des Experiments abgeschlossen haben. Ihr Teil II antwortet, wo sie einen direkten Vergleich zwischen den beiden Methoden machen, Geben Sie den Vorteil, dass Sie mit der Maus von Ort zu Ort zur Methode gelangen können (Tabelle 2). Dies war zu erwarten, da im Vergleich zu den verwendeten Netzen die Navigation mit der Maus leichter gesteuert werden konnte. Die Verwendung der Maus ist sicherlich einfacher in dem Sinne, dass sie weniger Energie benötigt - ein Knopfdruck anstelle der Ganzkörperaktivität, die beim Gehen vor Ort erforderlich ist.

4.4 Ergebnisse bei Anwesenheit

Alle Probanden bis auf einen vermieden es sorgfältig, mit Gegenständen zu kollidieren, die im ersten Raum auf dem Boden verteilt waren, um den roten Würfel aufzunehmen. In dieser Hinsicht schien es keinen Unterschied zwischen den Bewegungsmethoden zu geben. Dies kann jedoch wenig mit dem Gefühl der Präsenz zu tun haben. Aus Interesse baten wir ein Subjekt, das besonders darauf geachtet hatte, nicht in Objekte im ersten Raum zu kollidieren, den Vorgang des Bewegens durch den Raum (nach dem endgültigen Abschluss des formalen Experiments) zu wiederholen, diesmal jedoch ohne Eintauchen - Verwenden Sie die Maus und halten Sie das HMD gedrückt, während Sie die Ergebnisse auf dem TV-Monitor anzeigen. Wieder navigierte er vorsichtig um die Objekte herum. Seine Erklärung war, dass es "normal" ist, keine Objekte zu durchlaufen.

Tabelle 2
Durch die Welt bewegen: Antwort auf den Fragebogen

Allgemeiner Umzug			Von Ort zu Ort kommen			Natürlich / unnatürlich		
Fanden Sie es relativ "einfach" oder relativ "kompliziert" durch zu bewegen, um zu platzieren? die computergenerierte Welt?			Wie schwierig oder unkompliziert Der Umzug von Ort zu Ort war es für Sie, von Ort zu Ort im computergenerierten zu gelangen?			Welt kann scheinen, relativ Erfahrung "natürlich" oder relativ "unnatürlich". Bitte bewerten Sie Ihre davon zu sein.		
<i>Sich durch die Welt zu bewegen war ...</i>			<i>Von Ort zu Ort zu kommen war ...</i>			<i>Der Akt, sich von Ort zu Ort zu bewegen, schien mir zu sein durchgeführt ...</i>		
1. sehr kompliziert			1. sehr schwierig			1. sehr unnatürlich		
2. ...			2. ...			2. ...		
3. ...			3. ...			3. ...		
4. ...			4. ...			4. ...		
5. ...			5. ...			5. ...		
6. ...			6. ...			6. ...		
7. sehr einfach			7. sehr einfach			7. ganz natürlich		
Gruppe	Bedeutung	Median		Bedeutung	Median		Bedeutung	Median
Exp.	5	6		5	5		4	4
Steuerung	5	5		6	6		3	2
Teil II Vergleich:			Teil II Vergleich:			Teil II Vergleich:		
bevorzugen: Gehen: 4 gleich: 1 Maus: 8 GESAMT: 13			bevorzugen: Gehen: 1 gleich: 2 Maus: 10 GESAMT: 13			bevorzugen: Gehen: 5 gleich: 3 Maus: 5 GESAMT: 13		

Der Zweck des Szenarios im zweiten Raum bestand darin, einige Aspekte des "Visual Cliff" -Experiments zu wiederholen, bei dem kleine Kinder und Tiere aufgefordert werden, sich über eine visuelle Kluft zu bewegen, um (zum Beispiel) ihre Mutter zu erreichen. Der Abgrund ist tatsächlich von einer Glasscheibe bedeckt, so dass keine wirkliche Gefahr für das Subjekt besteht. Dieses berühmte Experiment, das sich mit der visuellen Führung menschlicher Handlungen befasste, die in [GIBS 60] beschrieben wurden, legte nahe, dass Menschen und Tiere fest verdrahtet sind, um tiefe Tropfen zu vermeiden - die Jugendlichen konnten nicht dazu gebracht werden, die Lücke zu überqueren. Unsere früheren informellen Beobachtungen und Ergebnisse eines Pilotversuchs [SLAT 92] deuteten darauf hin, dass dieses Phänomen auch bei IVEs auftritt. Es kann mit dem Gefühl der Präsenz zusammenhängen, da Subjekte, die nicht anwesend sind,

Wir fanden keinen Unterschied im beobachteten Verhalten zwischen denen in der Versuchsgruppe oder der Kontrollgruppe insgesamt. Die meisten Probanden zögerten, einige lange,

bevor Sie sich über den Abgrund wagen (sie sind praktisch nicht gefallen!), um den Würfel auf den Stuhl zu legen. Die meisten versuchten, den Stuhl zu erreichen, indem sie ihre Arme ausstreckten. Ein Proband in der Kontrollgruppe ging nie auf den Stuhl.

Tisch 3

Subjektive Bereitschaft, sich über den Abgrund zu bewegen

Im letzten Raum musste man einen Würfel auf einen Stuhl legen, über einen ziemlich tiefen Abgrund. Wie bereit waren Sie, sich von der Planke zu entfernen, um dies zu tun?		
<i>Ich war ...</i>		
1. sehr ungern von der Planke zu bewegen.		
2. ...		
3. ...		
4. ...		
5. ...		
6. ...		
7. sehr bereit, sich von der Planke zu bewegen.		
	Bedeutung	Median
Exp.	4	3
Steuerung	3	3

Tabelle 3 zeigt eine in Teil I des Fragebogens gestellte Frage zur Einschätzung der Probanden, ob sie bereit sind, aus der Kluft herauszutreten. Dies deutet darauf hin, dass diejenigen, die an Ort und Stelle gingen, möglicherweise etwas eher dazu bereit waren als diejenigen, die die Maus benutzten. Dies widerspricht unseren früheren informellen Beobachtungen.

Tabelle 4

Subjektive Berichterstattung über Präsenz

Da sein			Real oder Gegenwart			Sehen / Besuchen		
Bitte bewerten Sie Ihr Seinsgefühl dort in dem Computer während der Erfahrung			Inwieweit gab es Zeiten, in denen Sie zurückdenken erzeugt, wenn die Ihre Erfahrung, denken Sie Welt ...			des von Ihnen besuchten Welt mehr als etwas das Computers?		
<i>In der computergenerierten Welt hatte ich das Gefühl "da zu sein" ...</i>			<i>Es gab Zeiten während der Erfahrung, in denen die computergenerierte Welt für mich realer oder präsenter wurde im Vergleich zur "realen Welt" ...</i>			<i>Die computergenerierte Welt scheint mir eher ...</i>		
1. überhaupt nicht			1. zu keinem Zeitpunkt			1. etwas, das ich gesehen habe		
2. ...			2. ...			2. ...		
3. ...			3. ...			3. ...		
4. ...			4. ...			4. ...		
5. ...			5. ...			5. ...		
6. ...			6. ...			6. ...		
7. sehr			7. fast die ganze Zeit			7. irgendwo, wo ich besucht habe		
Gruppe	Bedeutung	Median		Bedeutung	Median		Bedeutung	Median
Exp.	6	6		5	5		5	5
Steuerung	5	5		4	3		5	4
Teil II Vergleich:			Teil II Vergleich:			Teil II Vergleich:		
bevorzugen: Gehen: 6 gleich: 5 Maus: 2 GESAMT: 13			bevorzugen: Gehen: 7 gleich: 5 Maus: 1 GESAMT: 13			bevorzugen: Gehen: 7 gleich: 6 Maus: 0 GESAMT: 13		

Wir haben auch drei Fragen gestellt, die sich direkt auf die Präsenz beziehen und über den Fragebogen verteilt sind. Die Fragen und eine Zusammenfassung der Antworten sind in Tabelle 4 aufgeführt. Diese speziellen Fragen stammen aus unserer früheren Arbeit über Präsenz: Präsenz betrifft das Ausmaß des "Seins", das Ausmaß, in dem die VE realer wird als die alltägliche Realität, und die Gefühl, irgendwo zu besuchen, anstatt etwas zu sehen.

Alle drei Indikatoren in Tabelle 4 deuten darauf hin, dass die Metapher „Gehen auf der Stelle“ möglicherweise mit einem höheren Präsenzgefühl verbunden ist als die Verwendung der Maus. Dies wird weiter durch die Vergleiche in Teil II des Fragebogens gestützt. In Bezug auf die drei Anwesenheitsindikatoren bevorzugten nur zwei Probanden die Verwendung der Maus gegenüber dem Gehen vor Ort.

4.5 Andere Probleme

Reisekrankheit und Übelkeit werden bei einer Minderheit (etwa 40%) aller Menschen beobachtet, die unser System verwendet haben. Wir haben beobachtet, dass der Grad der Übelkeit bei Personen, die vor Ort gehen, im Vergleich zu Personen, die die Maus verwenden, verringert sein kann. Bisher stützen unsere experimentellen Beweise diesen subjektiven Eindruck nicht, da zwischen den beiden Gruppen kein Unterschied im Ausmaß der gemeldeten Übelkeit gemeldet wurde. Das mittlere und mittlere Niveau der gemeldeten Übelkeit auf einer Skala von 1 bis 7 (1 = "überhaupt nicht", 7 = "sehr") betrug für beide Gruppen 2 oder 3.

Wir haben die Probanden gebeten, die Abstände zwischen den beiden Liniensätzen im Korridor zu schätzen, wobei die Möglichkeit berücksichtigt wurde, dass die Probanden virtuell sind *ging* über die Linien wäre in einer besseren Position, um die Entfernung im Vergleich zu denen zu schätzen, die *glitt* über die Zeilen mit der Maus. Wir fanden jedoch keinen Unterschied in den Schätzungen. Tatsächlich müssen wir diesen Teil des Experiments als Fehlschlag beurteilen, da die Probanden die Linien im Allgemeinen erst bemerkten, als wir sie darauf hinwiesen. Dies ist auf den Mangel an peripherer Sicht zurückzuführen, den die HMD bietet.

Wenn wir die Fehler vom Typ I (das Netz kommt fälschlicherweise zu dem Schluss, dass das Subjekt an Ort und Stelle läuft) der von den Subjekten erfolgreich verwendeten Netzwerke untersuchen und diese mit ihren Antworten auf Navigation und Anwesenheit vergleichen, zeigen die Daten, dass der Typ I umso niedriger ist Fehler, je größer die Tendenz ist, ein höheres Gefühl der Präsenz und eine einfachere Navigation zu melden. Dies basiert natürlich auf einer sehr kleinen Datenmenge und könnte in den nachfolgenden experimentellen Versuchen nicht zutreffen. Wenn dies jedoch der Fall ist, ist dies insbesondere im Hinblick auf die Navigation wichtig. Wenn wir den Fehler vom Typ I durch Reduzierung unserer Datenerfassungs- und Netz-Trainingsmethoden ausreichend reduzieren können, ist es möglich, dass die Metapher für das Gehen vor Ort der Verwendung der Maus vorzuziehen ist, selbst im Fall der Navigation .

5. Schlussfolgerungen

In diesem Artikel haben wir eine wandelnde Metapher für die Navigation durch eine virtuelle Umgebung eingeführt. Wir haben diskutiert, wie dies mit einem neuronalen Netz implementiert werden kann, das das Gehen eines Teilnehmers auf dem Punktverhaltensmuster erkennt, basierend auf Daten, die vom Verfolgungssystem für das HMD gesammelt wurden. Unsere vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass ein solches Netz erfolgreich trainiert werden kann und dass diese Metapher das Gefühl der Präsenz im Vergleich zu der üblicheren Navigationsmethode mit einem tragbaren Zeigegerät verbessern kann. Dies basiert natürlich auf einer kleinen Datenmenge zum Zeitpunkt des Schreibens, obwohl unsere Experimente fortgesetzt werden.

Es ist weniger klar, ob Menschen diese Gehmethode der Verwendung der Maus vorziehen, nur unter dem Gesichtspunkt, sich tatsächlich in der Umgebung fortzubewegen. Wie Brooks (aa O.) im Fall des echten Laufbandes feststellte: "Das lenkbare Laufband bot ein ziemlich realistisches Lauferlebnis und löste das Problem der begrenzten Reichweite des Kopfsensors auf dem am Kopf montierten Display ordentlich. Trotzdem Es erwies sich als zu langsam, um umfangreiche Modelle zu erkunden. Der Benutzer war mit der Übung erschöpft und wurde angesichts des langsamen Tempos frustriert. Die fliegenden Metaphern erwiesen sich für diese Art der schnellen Vermessung als nützlicher. "

Die Nützlichkeit einer Metapher hängt vom Anwendungskontext ab. Genau wie im wirklichen Leben ist das Gehen keine gute Methode, um große Räume zu erkunden. Wir stellten fest, dass einige unserer Probanden durch das Gehen körperlich müde wurden, und wir würden es nicht empfehlen, es für längere Zeit zu verwenden. Es ist jedoch ein billiges zusätzliches Werkzeug im Bereich der in der virtuellen Realität verfügbaren Schnittstellenmetaphern, und es gibt Umstände, unter denen das Gefühl der Präsenz die Kosten für relative Ineffizienz und Müdigkeit überwiegen würde. Stellen Sie sich zum Beispiel eine Anwendung zur Trainingssimulation von Rettungspersonal unter gefährlichen Bedingungen wie einem Brand vor: Die Tatsache, dass Benutzer aufgrund der zusätzlichen Übung, die mit einer Ganzkörperbewegung verbunden ist, müde und frustriert werden, ist realistisch. Im echten Leben,

Danksagung

Wir möchten Ben Kavanagh für seine Hilfe bei den in diesem Artikel beschriebenen Experimenten danken. Diese Arbeit wird vom britischen Wissenschafts- und Technikforschungsrat (SERC) und dem Ministerium für Handel und Industrie durch die Gewährung von CTA / 2 des London Parallel Applications Centre finanziert. Dies ist ein Gemeinschaftsprojekt mit Thorn Central Research Laboratories (CRL Ltd) und DIVISION Ltd. Anthony Steed wird von einem SERC-Forschungsstipendium unterstützt.

Verweise

[BROO 92]

Brooks, FP et. al. (1992) Technischer Abschlussbericht: Walkthrough-Projekt, sechs Generationen von Walkthroughs, Abteilung für Informatik, Universität von North Carolina, Chapel Hill, NC 27599-3175.

[ELLI 91]

Ellis, SR (1991) Natur und Ursprung virtueller Umgebungen: Ein bibliographischer Aufsatz, Computing Systems in Engineering, 2 (4), 321-347.

[FOLE 87]

Foley, JD (1987) Interfaces for Advanced Computing, Scientific American, Oktober 126-135.

[GIBS 60]

Gibson, EJ und RD Walk (1960) Die "visuelle Klippe", Scientific American, 202, 64-71.

[HEET 92]

Heeter, C. (1992) Being There: Die subjektive Erfahrung von Präsenz, Telepräsenz, Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen, 1 (2), MIT Press, 262-271.

[HELD 92]

Held, RM und NI Durlach (1992) Telepräsenz, Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen, 1, Winter, MIT Press, 109-112.

[HERT 91]

Hertz, J., A. Krogh, RG Palmer (1991) Einführung in die Theorie der neuronalen Berechnung, Addison-Wesley Publishing Company.

[IWAT 92]

Iwata, H. und K. Matsuda (1992) Haptic Walkthrough Simulator: Entwurf und Anwendung auf Studien zur kognitiven Karte, Zweite Internationale Konferenz über künstliche Realität und Teleexistenz, ICAT 92, 185-192.

[LOOM 92a]

Loomis, JM (1992) Distale Zuschreibung und Präsenz, Telepräsenz, Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen, 1, MIT Press, 113-119.

[LOOM 92b]

Loomis, JM (1992) Präsenz und distale Zuschreibung: Phänomenologie, Determinanten und Bewertung, SPIE 1666 Human Vision, Visual Processing und Digital Display III, 590-595.

[MACK 90]

Mackinlay, JD, SK-Karte, GG Robertson (1990) Schnelle kontrollierte Bewegung durch einen virtuellen 3D-Arbeitsbereich, Computergrafik (SIGGRAPH) 24 (4), 171-176.

[SHER 92]

Sheridan, TB (1992) Überlegungen zu Telepräsenz und virtueller Präsenz, Telepräsenz, Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen, 1, Winter, MIT Press, 120-126.

[SHNE 87]

Shneiderman, B. (1987) Entwerfen der Benutzeroberfläche: Strategien für eine effektive Mensch-Computer-Interaktion, Addison-Wesley Publishing Company.

[SLAT 92]

Slater, M. und M. Usoh (1992) Eine experimentelle Untersuchung der Präsenz in virtuellen Umgebungen, Institut für Informatik, QMW University of London, Bericht.

[SLAT 93a]

Slater, M. und M. Usoh (1993) Der Einfluss eines virtuellen Körpers auf die Präsenz in immersiven virtuellen Umgebungen, VR 93, Virtual Reality International, Proceedings der dritten Jahreskonferenz über Virtual Reality, Meckler, London, S. 34-42.

[SLAT 93b]

Slater, M. und M. Usoh (1993) Präsenz in immersiven virtuellen Umgebungen, Tagungsband der IEEE-Konferenz - Virtual International Annual International Symposium, Seattle, WA (in Vorbereitung).

[STEU 92]

Steuer, J. (1992) Definition der virtuellen Realität: Dimensionen, die die Telepräsenz bestimmen, Journal of Communication 42 (4), 73-93.

[WARE 90]

Ware, C. und S. Osborne (1990) Exploration und Steuerung virtueller Kameras in virtuellen dreidimensionalen Umgebungen, Proceedings of the 1990 Symposium on Interactive 3D Graphics, ACM SIGGRAPH, März 1990, 175-183.