

Diskussionen, Statistiken und Autorenprofile für diese Veröffentlichung finden Sie unter: <https://www.researchgate.net/publication/220089935>

Virtuelle Fortbewegung: Gehen Sie an Ort und Stelle durch virtuelle Umgebungen

Artikel *im* Präsenz von Teleoperatoren und virtuellen Umgebungen · Dezember 1999

DOI: 10.1162 / 105474699566512 · Quelle: DBLP

ZITATE

200

LESEN

1,503

3 Autoren:



[James N. Templeman](#)

United States Naval Research Laboratory

55 VERÖFFENTLICHUNGEN **538** ZITATE

SIEHE PROFIL



[Patricia S. Denbrook](#)

United States Naval Research Laboratory

13 VERÖFFENTLICHUNGEN **226** ZITATE

SIEHE PROFIL



[Linda Sibert](#)

27 VERÖFFENTLICHUNGEN **1,442** ZITATE

SIEHE PROFIL

James N. Templeman
templeman@itd.nrl.navy.mil
Code 5513
Marineforschungslabor
Washington, DC 20375-5337

Patricia S. Denbrook
Unabhängiger Softwareentwickler

Linda E. Sibert
Marineforschungslabor

Virtuelle Lokomotive:

Gehen Sie an Ort und Stelle durch virtuelle Umgebungen

Abstrakt

Dieses Dokument enthält sowohl eine Analyse der Anforderungen an die Benutzerkontrolle über die simulierte Fortbewegung als auch eine neue Steuerungstechnik, die diese Anforderungen erfüllt. Ziel ist es, dem Benutzer zu ermöglichen, sich in virtuellen Umgebungen so ähnlich wie möglich durch die reale Welt zu bewegen. Wir nähern uns diesem Problem, indem wir die Wechselbeziehungen zwischen Bewegungssteuerung und den anderen Aktionen untersuchen, mit denen Menschen handeln, spüren und auf ihre Umgebung reagieren. Wenn die Wechselwirkungen zwischen Kontrollaktionen und sensorischem Feedback mit denen von Aktionen in der realen Welt vergleichbar gemacht werden können, besteht Hoffnung auf die Entwicklung einer effektiven neuen Technik. Kandidatenlösungen werden überprüft, sobald die Analyse entwickelt ist. Diese Analyse führt zu einem vielversprechenden neuen Design für eine sensorgestützte virtuelle Fortbewegung namens *Gamasche*. Mit dem neuen Steuerelement können Benutzer ihre Bewegung durch virtuelle Umgebungen steuern, indem sie an Ort und Stelle treten. Die Bewegung der Beine einer Person wird erfasst, und das Gehen an Ort und Stelle wird als eine Geste behandelt, die anzeigt, dass der Benutzer beabsichtigt, einen virtuellen Schritt zu machen. Insbesondere bestimmt die Bewegung der Beine des Benutzers die Richtung, das Ausmaß und den Zeitpunkt seiner Bewegung durch virtuelle Umgebungen. Durch die Verknüpfung der virtuellen Fortbewegung mit der Beinbewegung kann eine Person in jede Richtung treten und die Schrittlänge und Trittfrequenz ihrer virtuellen Schritte steuern. Der Benutzer kann geradeaus gehen, sich an Ort und Stelle drehen und sich beim Vorrücken drehen. Die Bewegung wird in einem körperzentrierten Koordinatensystem ausgedrückt, das dem tatsächlichen Schritt ähnlich ist. Das System kann zwischen gestischen und tatsächlichen Schritten unterscheiden, so dass beide Arten von Schritten gemischt werden können.

1 Einführung

Natürliche menschliche Fortbewegung ist die selbstfahrende Bewegung eines Menschen durch die reale Welt, die typischerweise zu Fuß ausgeführt wird. Die natürliche Fortbewegung bietet ein hohes Maß an Manövrierfähigkeit über einen weiten Bereich des Geländes, wobei die Geschwindigkeit durch die Stärke und Beweglichkeit einer Person begrenzt wird. Die natürliche Fortbewegung unterscheidet sich von der Fahrzeugbewegung, bei der eine Person eine mobile Plattform steuert, die den Standpunkt des Benutzers enthält.

Die virtuelle Fortbewegung ist eine Steuerungstechnik, mit der sich eine Person auf natürliche Weise über große Entfernungen in der virtuellen Umgebung (VE) bewegen kann, während sie sich auf einem relativ kleinen physischen Raum befindet. Im Idealfall ermöglicht eine solche Interaktionstechnik Benutzern, dieselben koordinierten Aktionen auszuführen und sich in VE mit derselben Beweglichkeit wie in der realen Welt zu bewegen.

Die virtuelle Fortbewegung kann verwendet werden für:

Training und Probe bei der Ausführung von Fähigkeiten, Aufgaben, Strategien und Navigation, die sich zu Fuß durch eine Umgebung bewegen;
Planung Aktivitäten, die das Bewegen durch eine Zielumgebung beinhalten;

Bewertung der Ergonomie oder Ästhetik von Strukturen

signiert für den menschlichen Lebensraum oder für Geräte, die zur Verwendung durch Personen beim Gehen bestimmt sind;

Kommunikation zwischen Menschen an verschiedenen Orten

wenn sie auf eine Weise miteinander in Beziehung treten wollen, die Fortbewegung beinhaltet; und

Unterhaltung Erfahrungen, die das Durchziehen beinhalten

ein VE.

Bei all diesen Aktivitäten können mehrere Personen miteinander interagieren.

Die Fähigkeit, das Herumlaufen in der Umgebung realistisch zu simulieren, ist ein Schlüsselement, das in den meisten heutigen vollständig immersiven VEs fehlt. Eine Reihe sensorgestützter Techniken wird häufig verwendet, um die Bewegung durch VEs zu steuern, sie führen jedoch Artefakte in die Interaktion ein. Mechanische Bewegungsplattformen wurden ebenfalls eingesetzt, um diese Schwierigkeiten zu überwinden, sie weisen jedoch unterschiedliche, aber ebenso störende Nebenwirkungen auf. Wir werden diese Techniken weiter überprüfen, sobald wir unseren Analyserahmen vorgestellt haben.

Die virtuelle Fortbewegung ist eine Technologie, die es ermöglicht, realistischere Teamtrainingsysteme aufzubauen. Die Anwendungen, die die Entwicklung der virtuellen Fortbewegung am deutlichsten rechtfertigen, stellen die größte Anforderung an eine realistische Steuerung. Menschen ausbilden

Das Ausführen gefährlicher Aufgaben ist eine offensichtliche Anwendung für einen vollständig immersiven Simulator, da dies dem Benutzer ermöglichen würde, ein realistisches Szenario zu erleben, ohne Körperverletzung zu riskieren. Die virtuelle Fortbewegung ist für die Konstruktion einzelner Kämpfersimulatoren unerlässlich, bei denen der Soldat direkt mit der Umgebung interagiert. Mit vollständig immersiven Simulatoren können Soldaten in Teamoperationen und taktischen Doktrinen geschult werden. Sie können verwendet werden, um eine Gruppe mit einer bestimmten Umgebung vertraut zu machen und Vorgänge in dieser Umgebung zu planen und zu proben. Ein genaues VE-Modell einer Botschaft könnte verwendet werden, um ein Team für die Durchführung einer Evakuierung auszubilden.

Die Entwicklung einer virtuellen Fortbewegung zur Unterstützung der Infanterie-Kampfsimulation ist eine große Herausforderung. Infanterieoperationen stellen hohe Anforderungen sowohl an die Kontrolle der Bewegung als auch an die Kompatibilität dieser Kontrolle

mit anderen Aktionen, die der Benutzer beim Bewegen ausführt. Die Benutzer müssen in der Lage sein, große Entfernungen über abwechslungsreiches Gelände zurückzulegen und agil durch enge Räume zu manövrieren. Kampfsituationen erfordern, dass der Soldat sorgfältig auf die durchquerte Umgebung achtet und in der Lage ist, schnell (reflexartig) auf unerwartete Bedingungen zu reagieren. Einzelne Kombattanten müssen in der Lage sein, sich zu bewegen, zu navigieren, zu schießen, in Deckung zu gehen, Gebäude zu räumen, mit anderen Teammitgliedern zu kommunizieren und so weiter.

Frühere Militärsimulatoren haben sich auf Fahrzeugwaffenplattformen konzentriert, bei denen die Bewegung über dieselben Steuergeräte gesteuert wurde, mit denen das eigentliche Fahrzeug gesteuert wurde. Tatsächliche oder kostengünstigere Versionen der Steuerungen, die zum Steuern von Flugzeugen oder zum Antreiben eines Panzers verwendet werden, können in Flug- und Panzersimulatoren verwendet werden. Dies machte es relativ einfach, ein hohes Realitätsniveau zu erreichen

istische Interaktion. Ein Fortbewegungssimulator erfordert einen grundlegend anderen Ansatz. Der physische Körper des Benutzers ist das Steuergerät, und die Darstellung des Körpers des Benutzers in der VE ist das zu steuernde Fahrzeug. Die Entwicklung einer solchen direkten Körperschnittstelle erfordert neue Analyse- und Designtechniken, um einen natürlichen Bereich von Fähigkeiten zu simulieren.

Viele andere Simulationsaufgaben erfordern nicht die Genauigkeit eines Infanterie-Kampfsimulators. Um die Anforderungen für die anspruchsvollere Aufgabe zu erfüllen, haben wir ein System entwickelt, das die Bewegung in einem natürlichen, körperzentrierten Referenzrahmen unterstützt und es dem Benutzer ermöglicht, sich auszudrücken und Umgebungen auf persönlicher Ebene zu erleben. Die Funktionen, die sich aus der Erfüllung der Anforderungen der anspruchsvolleren Aufgabe ergeben, bieten subtile, aber signifikante Vorteile für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen.

1.1 Interaktiver Realismus

Inwieweit kann ein Infanterist lernen, sich auf städtische Kämpfe einzulassen, indem er ein Desktop-Computerspiel wie dieses spielt? *Beben II*? Einige Dinge können gelernt werden, wie das Layout eines Gebäudes oder sogar einfache Taktiken wie das Umarmen der Wand, um die Exposition zu minimieren, aber viele andere taktische Aspekte der Situation werden nicht vermittelt. Eine Person ist im-

Die Vermittlung der Beziehung zu dem ihn umgebenden 360/180-Grad-Raum und seine Fähigkeit, den Feind zu erkennen und sich mit Teamkollegen zu koordinieren, sind beeinträchtigt. Nicht nur was, sondern auch wie eine Person Dinge tut, ändert sich, wenn sie in einem körperzentrierten Rahmen erlebt wird. Es scheint wichtig zu sein, tatsächlich ein Gewehr zu tragen und durch das Visier des Gewehrs zu zielen, anstatt ein Fadenkreuz mit einem Joystick oder einer Maus auszurichten. Manchmal gibt es keinen Ersatz dafür, sich in der dynamischen Situation zu befinden und die eigenen Handlungen direkt zu kontrollieren. Wie nahe können wir dem für First-Person-Simulatoren kommen, die VEs verwenden?

Der Realismus eines virtuellen Fortbewegungssystems kann auf verschiedene Arten beurteilt werden. Die Steuerung der Benutzeroberfläche kann von beiden Seiten der sensorisch-motorischen Rückkopplungsschleife aus untersucht werden. Betrachten Sie zunächst die Aktionen, die der Benutzer ausführen muss, um die Kontrolle auszuüben (Computereingabe). Bietet es dem Benutzer in Bezug auf die Steuerung auf hoher Ebene die gleichen Fähigkeiten, die er in der realen Welt hat? Kann er die gleichen Aufgaben ausführen? Ermöglicht die Steuerung dem Benutzer bei einem niedrigeren Feinkornniveau, mit der gleichen Geschwindigkeit, mit der gleichen Genauigkeit, dem gleichen Aufwand und der gleichen Koordination zu reagieren - und zwar auf die gleiche Weise wie in realen Situationen? Betrachten Sie zweitens das sensorische Feedback, das Sie als Reaktion auf die Aktionen des Benutzers erhalten (Computerausgabe). Nimmt der Benutzer dieselben Informationen auf wie in der realen Welt? Informationen sollten dahingehend interpretiert werden, wie sie die Entscheidungsfindung des Benutzers beeinflussen, dh wie sie seine zukünftige Vorgehensweise beeinflussen. Eine virtuelle Fortbewegungssteuerung beeinflusst, wie sich der Benutzer durch das VE bewegt, was wiederum die Wahrnehmung des Benutzers beeinflusst und eine simulierte Erfahrung erzeugt. Somit kann interaktiver Realismus auch in Bezug auf die Aktionen des Benutzers betrachtet werden - wie ähnlich die Aktionen des Benutzers in der VE denen sind, die er in der realen Welt ausführen würde.

2 Simulation der natürlichen Fortbewegung: ein Rahmen für die Analyse

Unser Ziel ist es, eine virtuelle Fortbewegungssteuerungstechnik zu finden, die der tatsächlichen Fortbewegung so ähnlich wie möglich ist. Aber wie genau sollte es ähnlich sein? Wir nähern uns dieser Frage durch eine Analyse der Wechselbeziehung zwischen natürlichen und Kontrollmaßnahmen.

2.1 Festlegen der Kontrolle in Bezug auf Handlung und Wirkung

Es ist nützlich, eine Steuerungstechnik in zwei Teile zu unterteilen: die vom Benutzer ausgeführte Steueraktion und den vom Computersystem erzeugten gesteuerten Effekt. Da in diesem Fall die Steuerungstechnik verwendet wird, um eine in der realen Welt ausgeführte Aktion nachzuahmen, gibt es eine entsprechende natürliche Aktion und einen natürlichen Effekt. Im Kontext der virtuellen Bewegung eines Menschen ist die natürliche Handlung die Reise (Gehen, Laufen, Ausweichen usw.), der natürliche Effekt ist die reale Fortbewegung (die Verschiebung und Drehung des gesamten Körpers durch den Raum) und der kontrollierte Effekt ist virtuelle Fortbewegung. Viele alternative Steuerungsaktionen können für die virtuelle Fortbewegung verwendet werden und werden im Hinblick auf den in diesem Abschnitt entwickelten analytischen Rahmen berücksichtigt.

2.2 Komponenten der Lokomotive

Die Fortbewegungssteuerung wird in zwei Komponenten unterteilt: Steuerung der Bewegungsrichtung (Lenkung) und der Bewegungsgeschwindigkeit (Geschwindigkeitssteuerung). Bei natürlicher Fortbewegung umfasst das Lenken das Drehen des Körpers, um die Vorwärtsbewegung und das schräge Treten umzuleiten (dh das Verschieben des Körpers in eine andere Richtung als die Richtung, in der der Oberkörper ausgerichtet ist, wie beim Seiten- und Rückschritt). Im Rahmen unserer Analyse der Fortbewegung wird die Ausrichtung des Beckens oder insbesondere des Beckengürtels übernommen, um die Ausrichtung des Körpers zu beschreiben.

2.3 Wechselwirkung mit anderen Natural Act-Ionen

Natürliche Fortbewegung interagiert mit einer Vielzahl anderer Aktionen. Diese Aktionen umfassen das Schauen (sowohl den Kopf als auch die Augen lenken), die Manipulation (typischerweise mit den Händen, wie beim Richten eines Gewehrs), die Haltung (Bewegen von Körperteilen zu anderen Zwecken als Schauen, Manipulieren oder Fortbewegen) und Denken. Denken ist enthalten, weil es etwas ist, was der Benutzer tut, das mit anderen Aktionen, einschließlich der Fortbewegung, interagiert. Das

Ausdruck *kognitive Belastung* kann verwendet werden, um zu beschreiben, wie das Denken die Ausführung anderer Handlungen einschränken oder durch diese einschränken kann.

2.4 Simulation einer natürlichen Fähigkeit

Das Ziel der simulierten Fortbewegung ist es, eine Steuerung bereitzustellen, um sich so natürlich wie möglich durch ein VE zu bewegen. Wir haben jetzt die Bedingungen, um diese Anforderung in Bezug auf Aktion, Komponentenaktionen, Interaktion und Wirkung formeller zu formulieren.

- (1) Die Kontrollmaßnahme sollte der natürlichen ähnlich sein
 nale Wirkung in Bezug auf seine intrinsischen Eigenschaften
 (Bewegungseinschränkungen, Kalorienverbrauch usw.).
- (2) Die Komponenten der Steueraktion (Lenkung)
 und Geschwindigkeitskontrolle) sollten miteinander interagieren, wenn die
 Komponenten der natürlichen Fortbewegung interagieren.
- (3) Die Kontrollaktion sollte mit anderen Aktionen interagieren
 auf ähnliche Weise wie die natürliche Fortbewegung mit anderen
 Aktionen interagiert (z. B. die Hände für Manipulationen freigeben
 und ein normales Maß an koordinierten Kopf-, Arm- und
 Beinbewegungen ermöglichen). Es sollte auch mit der
 tatsächlichen Fortbewegung über kurze Strecken kompatibel sein.
- (4) Die kontrollierte Wirkung sollte ähnlich sein wie die
 natürliche Wirkung. Die Geschwindigkeit und Präzision der Bewegung sollten
 übereinstimmen und es sollten keine unangemessenen Nebenwirkungen
 auftreten (z. B. Vorsicht, um ein Umfallen zu vermeiden).

Dies ist eindeutig eine große Herausforderung für jede virtuelle Fortbewegungssteuerung, bietet jedoch eine Reihe grundlegender Kriterien, anhand derer alle Kandidatentechniken bewertet werden können. Diese Kriterien sind in Tabelle 1 zusammengefasst und in den folgenden Themen weiterentwickelt.

2.5 Kompatibilität mit dem Körper

Ein hohes Maß an Kompatibilität mit anderen natürlichen Aktionen kann erreicht werden, indem der Benutzer das Gerät einschaltet

Tabelle 1. Zusammenfassung der Anforderungen an den interaktiven Realismus der virtuellen Fortbewegung

Ähnlichkeit von Natur und Kontrolle. . .

1. Aktionen

- x Körperteil, der Handlung ausführt
- x Handlungsattribute: Orientierung, Bewegung, Kraft usw.
- Bewegungsattribute: Richtung, Ausmaß, Timing
- x Aufwand und Kalorienverbrauch

2. Interaktion zwischen Komponentenaktionen (EIN)

- x Lenkung: Drehen und Ausweichen
- x Geschwindigkeitskontrolle

3. Interaktion mit anderen Aktionen (B)

- x Schauen Sie - zeigen Sie auf Kopf und Auge
- x Manipulieren - freie Hände zur Manipulation
- x Denken Sie - kognitive Belastung
- x Bewegen - Kompatibilität mit anderen Körperbewegungen
 - Ein- und Zwei-Fuß-Drehpunkte - um die tatsächlichen Schritte schnell zu ändern - zur lokalen Verschiebung des Körpers. Bewegungen für besondere Zwecke: Biegen, Hocken, usw.

4. Effekte

- x Geschwindigkeit und Präzision der Bewegung
- x Flugbahnen genommen
- x Bewegungseinschränkungen

(A) impliziert, dass die Komponenten der Bewegungssteuerung miteinander interagieren, während die Komponenten der natürlichen Bewegung interagieren. (B) impliziert, dass die Bewegungssteuerung mit anderen Aktionen interagiert, während natürliche Bewegung mit anderen Aktionen interagiert (koordinierte Kopf-, Arm- und Beinbewegungen).

VE durch körperliches Drehen seines Körpers. Auf diese Weise können Aktionen wie das Drehen des Kopfes, das Zeigen der Hand oder das Schwingen einer Waffe als natürliche koordinierte Bewegung ausgeführt werden. Außerdem kann die reflexive Ausrichtung einer Person auf einen Reiz oder von diesem weg effektiv genutzt werden (z. B. das Drehen des Kopfes, um die Quelle eines unerwarteten Geräusches zu erkennen). Ein weiterer Vorteil der natürlichen Drehung besteht darin, einen möglichen sensorischen Konflikt zu vermeiden. Menschen spüren, wie sie sich durch ihr visuelles, akustisches, haptisches und vestibuläres System drehen. Der vestibuläre Bewegungssinn der Menschen trägt zu ihrer Navigationsfähigkeit bei

durch virtuelle Umgebungen (Chance, Gaunet, Beall & Loomis, 1998).
Durch die zeitliche Integration dieser Informationen bauen sie ein Gefühl für ihre Orientierung in einer Umgebung auf.

Es ist daher ratsam, die natürliche Wirkung und Wirkung der direkten Drehung des Körpers in die virtuelle Fortbewegungssteuerung einzubeziehen, ohne die Art und Weise der Drehung zu verändern. Mit anderen Worten, zum Drehen sollte die Kontrollwirkung der natürlichen Wirkung entsprechen, und die kontrollierte Wirkung sollte der natürlichen Wirkung entsprechen. Dies macht zwar spezielle Aktionen zur Steuerung des Abbiegens überflüssig, zwingt jedoch dazu, dass die Steueraktion mit dem physischen Drehen kompatibel sein muss. Der Benutzer sollte in der Lage sein, während des Abbiegens eine virtuelle Fortbewegung durchzuführen, und der zurückgelegte Pfad sollte entsprechend variieren.

Der Körper kann auf verschiedene Arten gedreht werden. Meistens drehen sich die Menschen, um sich zu drehen: Wenn Sie die Füße bei jedem weiteren Schritt in eine andere Richtung heben und pflanzen, dreht sich der Körper in eine neue Richtung. Menschen drehen sich auch auf ihren Füßen, um sich zu drehen. Hier wird der Fuß gedreht, während er weiterhin das Gewicht einer Person trägt. Es gibt ein- und zweifüßige Drehpunkte. Das Schwenken bietet eine Möglichkeit, den Körper zeitlich und räumlich wirtschaftlicher zu drehen als das Drehen, insbesondere in Kampfsituationen. Drehpunkte werden häufig in engen, ungünstigen Räumen oder bei der Ausführung zeitkritischer Aktionen verwendet. Die Leute drehen sich auch beim Springen. Das Drehen des Körpers ist nicht der einzige Weg, um eine Lenkung mit natürlicher Fortbewegung zu erreichen.

2.6 Das Gehen mit gedrehtem Kopf ist getrennt von Sidest Epping

Zusätzlich zum Drehen können sich Menschen in eine Richtung bewegen, während sie in eine andere schauen. Es gibt zwei Möglichkeiten, dies zu tun:

- (1) Eine Person kann jedoch in jede Richtung treten
seine Hüften bleiben in einer festen Richtung ausgerichtet.

So kann man vorwärts, rückwärts, seitwärts und diagonal gehen, ohne sich zu drehen.

- (2) Eine Person kann ihren Kopf und Oberkörper zu a drehen
Grad bestimmt durch die Flexibilität seiner Wirbelsäule unter
Beibehaltung einer relativ konstanten Gang- und Hüftorientierung.

Dies ermöglicht es einem, vorwärts zu gehen, während man zur Seite schaut, oder hin und her zu scannen, während man weiter vorwärts geht. Es gibt also zwei Möglichkeiten, sich seitlich in die Blickrichtung oder den Zielpunkt zu bewegen. Der erste ist, zur Seite zu treten; Die zweite besteht darin, vorwärts zu gehen, während der Oberkörper gedreht wird.

2.7 Unabhängigkeit der Kontrolle

Der menschliche Körper besteht aus vielen Teilen. Kopf und Rumpf können unterschiedlich ausgerichtet sein, und die Bewegung beider Beine, die zusammenarbeiten, bewegt den Körper über den Boden. Wenn Sie eine handbetätigte Bewegungssteuerung für den Desktop erstellen, ist es praktisch, die Steuerung über diese verschiedenen Elemente in eine Steuerung über eine einzelne Ausrichtung zu reduzieren. Selbst wenn man eine Kontrolle hätte, die in der Lage wäre, mehr Freiheitsgrade auszudrücken, wäre es nicht klar, dass der Benutzer die zusätzliche Verantwortung haben möchte, alle zusätzlichen Kontrollzustände kontrollieren zu müssen, die diese Freiheit impliziert, zumindest nicht durch Überlastung der Pflichten der Hand.

2.8 Kompatibilität mit anderen realen Bewegungen

Es ist äußerst wünschenswert, dass die virtuelle Fortbewegungssteuerung mit anderen Arten von Haltungsbewegungen wie Biegen in der Taille oder Hocken kompatibel ist. Diese können als Sonderaktionen angesehen werden, die für bestimmte Aufgaben unerlässlich sind. Ein Benutzer kann sich bücken, um eine Ecke zu schauen, oder sich hocken, um sich hinter einem Damm zu verstecken. Es wäre wünschenswert, wenn diese Bewegungen auf natürliche Weise ausgeführt werden könnten, während eine virtuelle Fortbewegung durchgeführt wird. Benutzer sollten kein völlig neues Vokabular von Steueraktionen lernen müssen, nur um sich in verschiedenen Positionen bewegen zu können.

Es ist auch wünschenswert, die virtuelle Fortbewegung mit der natürlichen Fortbewegung vermischen zu lassen. Der Benutzer könnte

Bewegen Sie sich in einem VE vorwärts, indem Sie Kontrollaktionen durchführen oder tatsächliche Schritte unternehmen (wenn auch über einen begrenzten Bereich). Körperliche Bewegungen können in VEs gut funktionieren, müssen jedoch innerhalb der Reichweite des Trackers und innerhalb des verfügbaren Raums bleiben.

2.9 Folgen unrealistischer Wechselwirkungen

Was passiert, wenn die oben entwickelten Anforderungen an den interaktiven Realismus nicht erfüllt sind? Wenn die Ähnlichkeit von Aktionen, Komponentenaktionen, Interaktionen oder Effekten nicht vollständig erreicht wird? Die Aktionen müssen gleich sein, damit der Benutzer die richtigen koordinierten Reflexe entwickeln kann. Die Fähigkeit (der Effekt) muss dieselbe sein, damit Benutzer lernen, wann sie sie anwenden, in Strategien integrieren und vermeiden müssen, ihre Strategie zu ändern, um ihre Abwesenheit zu kompensieren. Die Vergütung ist schlecht, da dies bedeutet, dass Benutzer in der VE andere Praktiken und Ansätze anwenden als in der realen Welt.

In Bezug auf isolierte Funktionen - Funktionen können in der VE verloren gehen, neue Funktionen können erworben werden und die Steueraktion kann die Art und Weise ändern, in der eine Funktion verwendet wird. Alle diese Fälle weichen von der realistischen Aufgabenleistung ab. Wenn ein Steuerelement den Benutzer mühelos mit hoher Geschwindigkeit bewegen lässt, führt er möglicherweise Probenmissionen in der VE durch, die in der realen Welt unmöglich durchzuführen wären. In Bezug auf Interaktionsfunktionen - die Steueraktion kann andere Funktionen ausschließen (z. B. kann ein schnelles Anhalten eine schnelle Bewegung behindern). Durch die Steueraktion kann der Benutzer zusätzliche Aktionen ausführen (z. B. eine Technik, die Rückwärts unterstützt) Eine Bewegung, während der Benutzer in Ruhe steht, würde es dem Benutzer ermöglichen, ein Gewehr genau zu zielen, während er sich vom Feind zurückzieht.

3 Vorarbeiten in der virtuellen Lokomotive

Wir werden nun eine Vielzahl von Fortbewegungskontrollen im Kontext des oben entwickelten Rahmens überprüfen. Wir beginnen mit der Betrachtung der konventionelleren

steuert die Bewegung mithilfe von Sensoren, die an Teilen des Oberkörpers angebracht sind. Anschließend beschreiben wir eine Reihe mechanischer Fortbewegungssysteme, die die physikalische Erfahrung der Fortbewegung simulieren sollen. Wir schließen mit der Beschreibung einer Reihe neuerer sensorgestützter Steuerungen, mit denen der Benutzer die gewünschte virtuelle Bewegung mit seinen Beinen ausdrücken kann, ohne die Oberfläche unter seinen Füßen physisch zu bewegen. Dies liefert eine grobe Skizze des Fortschritts und der Konvergenz der gewählten Ansätze. Youngblut, Johnson, Nash, Wienclaw et al. (1996) wird für eine alternative Überprüfung der virtuellen Fortbewegungstechnologie empfohlen.

3.1 Konventionelle sensorgestützte Steuerungen

Sensorbasierte Steuerungen verwenden Sensoren, die an ausgewählten Körperteilen des Benutzers angebracht sind, um die Bewegung durch ein VE zu steuern. Der in VEs am häufigsten verwendete Sensortyp verfolgt die Position und Ausrichtung eines Objekts im 3D-Raum. Andere Arten von Sensoren werden verwendet, um andere Eigenschaften wie Kraft und Beschleunigung zu messen. Sensorbasierte Steuerungen werden häufig verwendet, um die Bewegungsgeschwindigkeit durch das VE zu steuern und einzustellen. In diesem Abschnitt werden herkömmliche Steuerungen beschrieben, die zu diesem Zweck eingesetzt wurden.

3.1.1 Lenksteuerung. Die offensichtlichste und am weitesten verbreitete Lenktechnik ist das Zeigen. Bei einer Fahrzeugsteuerung bleibt der Körper des Benutzers im Fahrzeug fixiert und eine geschwindigkeitsabhängige Zeigergerät wie ein Lenkrad wird zum Drehen des Fahrzeugs verwendet. In einem vollständig immersiven VE, das entweder mit einem HMD- oder einem 360-Grad-Surround-Bildschirm aufgebaut ist, kann der Benutzer seinen Körper so drehen, dass er direkt zeigt.

Die kopfbasierte Lenkung ist in VE-Systemen weit verbreitet. Dies ist wirtschaftlich, da derselbe Positions-Tracker, mit dem das Sichtfeld des Benutzers bestimmt wird, zur Steuerung der Bewegungsrichtung verwendet wird. Weitere Vorteile der kopfbasierten Lenkung sind, dass der Benutzer sieht, wohin er fährt, und die Hände nicht mehr lenken müssen. Der Nachteil ist, dass Schauen und Bewegen nicht mehr unabhängig voneinander sind. Der Benutzer kann seinen Kopf nicht drehen, um während der Bewegung zur Seite zu schauen, ohne seinen Weg zu ändern. Bowman demonstrierte dieses Problem, indem er Benutzer aufforderte, zu einem zu gehen

Position, auf die ein Pfeil in einem VE zeigt (Bowman, Koller & Hodges, 1997). Benutzer mussten sich weiter drehen, um auf den Pfeil zu schauen, während sie sich in die gewünschte Position bewegten. der Akt des Schauens störte ihre Bewegung. Die Aufgabe war mit der Handlenkung viel einfacher durchzuführen.

Handbasierte Lenktechniken bestimmen die Richtung entweder von der Stelle, an der der Arm zeigt, von der Stelle, an der ein Handgriff zeigt, oder von der Stelle, an der ein Finger zeigt, wenn eine instrumentierte Datenliebe getragen wird. Die handbasierte Lenkung macht den Kopf frei und ermöglicht es dem Benutzer, sich relativ zum Kopf oder Körper seitwärts zu bewegen. Der Nachteil ist, dass es die Manipulation stört. Die Hand ist besetzt, so dass die Verwendung der Hand für andere Aufgaben zu Konflikten und Unterbrechungen führt. Der Benutzer muss sich auch der Bedeutung bewusst sein, auf die die Hand gerichtet ist.

Die Lenkung auf Torsobasis befreit den Kopf zum Schauen und die Hände zum Manipulieren, unterstützt jedoch kein Ausweichen. Oft bewegen sich Menschen in die Richtung, in die die Vorderseite ihres Torsos zeigt, aber manchmal nicht. Ein Soldat, der ein Gewehr über die Brust zielt, kann es vorziehen, in die Richtung vorzurücken, in die er zielt.

Eine andere Reihe von Techniken verwendet das Neigen des Körpers, um die Bewegungsrichtung festzulegen. Drei Ansätze zur mageren Lenkung sind das Kippen des Oberkörpers, das Verlagern des Gewichts relativ zu den Füßen und das Verlagern des Gewichts relativ zu einer Plattform. Alle drei Arten des Lehnens bieten Freisprechfunktion und können das Ausweichen unterstützen. Fairchild, Lee, Loo, Ng et al. (1993) implementierten ein System, das auf der Verschiebung der Kopfposition des Benutzers durch Kippen seines Oberkörpers (Verbeugung) basiert. Diese Steuerung ist nicht kompatibel mit dem Benutzer, der seinen Oberkörper für andere Zwecke kippt, z. B. um unter eine Tabelle zu schauen. Der zweite Ansatz, das Gewicht relativ zu den Füßen (dh zur Basis der Unterstützung) zu verlagern, ist von begrenztem Nutzen, da die Kontinuität unterbrochen wird, wenn ein Benutzer zum Drehen tritt.

Die dritte Art der schlanken Steuerung besteht darin, das eigene Gewicht relativ zu einer Plattform zu verlagern. Max Wells vom HIT Lab der University of Washington entwickelte ein solches System (Wells, Peterson & Aten, 1996). Die Bewegung wird gesteuert, indem der Körper lokal relativ zu einer zentralen neutralen Position bewegt wird. Beim Eintauchen in ein am Kopf montiertes Display kann der Benutzer den Überblick darüber verlieren, wo er in Bezug auf die neutrale Position steht. Die Richtung und Geschwindigkeit des optischen Flusses geben einen Hinweis darauf, wo sich der Benutzer befindet

gelegen. Ein Satz elastischer Bänder, die an einem Ring befestigt sind

Die Taille des Benutzers kann hinzugefügt werden, um ein haptisches Feedback zu geben und den Benutzer zurück in die neutrale Position zu drücken. Der Richtungskordinatenrahmen ist relativ zu einem festen externen Punkt im Raum, ein unnatürlicher Zustand, der interessante Nebenwirkungen hervorruft. Dies macht das Drehen des Körpers und das Steuern der Bewegungsrichtung noch unabhängiger als bei natürlicher Fortbewegung. Der Benutzer kann sich in eine Richtung bewegen und sich dann in eine andere Richtung drehen, wodurch es so einfach ist, rückwärts wie vorwärts zu laufen. Dieser Ansatz ist mit der physischen Fortbewegung nicht vereinbar, da die Geschwindigkeit durch die relative Position des Körpers gesteuert wird.

3.1.2 Geschwindigkeitsregler. Die Geschwindigkeit kann durch Fingerdruck oder durch den Grad der Neigung (wenn) gesteuert werden (Lehnen wird zum Lenken verwendet). Mit Fingerdruck werden zwei an einer Handsteuerung angebrachte Binärschalter verwendet, um eine virtuelle Vorwärts- oder Rückwärtsbewegung aufzurufen. Dies ist eine weit verbreitete Technik, die einfach und kostengünstig zu implementieren ist. Wir haben versucht, druckempfindliche Tasten zu verwenden, und empfehlen deren Verwendung, da dies eine reibungslose Möglichkeit zum Variieren der Geschwindigkeit bietet. Ein Hauptvorteil von Handsteuerungen besteht darin, dass sie unabhängig von Kopf-, Rumpf- und Beinbewegungen arbeiten und somit mit einer Vielzahl von physischen Bewegungen kompatibel sind. Der Hauptnachteil der Verwendung der Hand zur Steuerung der Geschwindigkeit besteht darin, dass die Verwendung der Finger für manipulative Aufgaben beeinträchtigt wird. Wenn VEs reicher werden und den Benutzer in komplexere Aufgaben einbeziehen, müssen die Hände des Benutzers stärker manipuliert werden. Dies ist am deutlichsten bei Kampfsystemen der Fall, bei denen der Benutzer eine Waffe sowohl in Ruhe als auch in Bewegung halten und zielen muss. Ein zweiter Nachteil der Verwendung von Handsteuerungen mit am Kopf montierten Displays besteht darin, dass der Benutzer nicht direkt sehen kann, wie seine Hand den Griff hält oder wie die Finger die Tasten berühren. Dies begrenzt die Anzahl der Schaltflächen, mit denen der Benutzer arbeiten kann.

Slater, Usoh und Steed (1995) entwickelten eine neuartige Geschwindigkeitsregelung, die auf der Erkennung der Geste des Gehens an Ort und Stelle basiert. Ein am HMD angebrachter Magnetsensor mit sechs Freiheitsgraden (DOF) verfolgte die Kopfbewegung des Benutzers. Aufgezeichnete Bewegungsdaten wurden verwendet, um ein rechnergestütztes neuronales Netzwerk zu trainieren, um das Gehen an Ort und Stelle im Vergleich zu anderen Aktivitäten wie Bücken oder Herumlaufen zu erkennen.

Die kopfbasierte Lenkung wurde verwendet, sodass der einzelne Sechs-DOF-Headtracker die virtuelle Fortbewegung vollständig kontrollierte (ein sehr wirtschaftlicher Ansatz). Diese Technik war ein bedeutender Fortschritt in Richtung beinbasierter Fortbewegungskontrolle, bietet jedoch nicht den vollen Bereich natürlicher Bewegung. Ein Benutzer kann nicht in eine Richtung gehen, während er in eine andere schaut, und es ist unklar, ob das Netzwerk über genügend Informationen verfügt, um eine Geste zum Vorrücken beim Drehen vom einfachen Drehen zu unterscheiden.

3.2 Mechanische Lokomotionssysteme

Mechanische Fortbewegungssysteme verbessern die Simulation der physischen Fortbewegungserfahrung, indem sie die Aktion der Beine des Benutzers mit seiner Bewegung in der VE verknüpfen. Diese Systeme charakterisieren die Richtung und Geschwindigkeit der virtuellen Bewegung, indem sie die Bewegung des Körpers in Verbindung mit einem externen mechanischen Gerät verwenden.

3.2.1 Unidirektionale Systeme. Unidirektionale Systeme beschränken die Bewegung auf eine Richtung und erfordern eine spezielle Steueraktion, um die virtuelle Welt um den Benutzer herum zu drehen. Ein frühes System in dieser Kategorie ist das Laufband, das an der Universität von North Carolina in ihrem Architectural Walkthrough System verwendet wird (Brooks, Airey, Alspaugh, Bell, et al., 1992). Zum Lenken wird ein Griff vor dem Benutzer verwendet. Sie berichten, dass das Laufband desorientiert ist, wahrscheinlich weil es kein echtes Drehgefühl gibt (was für das Lernen auf der Route hilfreich ist). Das Drehen der virtuellen Welt um den Benutzer erzeugt einen merkwürdigen Übergangseffekt. Andere Unidirektionssysteme leiden wahrscheinlich unter der gleichen Schwierigkeit. Die Sarcos Research Corporation hat den TREADPORT entwickelt, ein großes Laufband, mit dem der Benutzer stehen, knien, sitzen und liegen kann (Youngblut et al., 1996). Laufbänder ermöglichen es dem Benutzer, sich mit einem realistischeren Gang zu bewegen, solange sich der Benutzer mit einer konstanten Geschwindigkeit und Richtung bewegt. Sie sind ein überlegener Sportsimulator für Langstreckenläufer. OSIRIS, entwickelt vom Nachsichtlabor der US-Armee, ist ein Treppenstufengerät (Lorenzo, Poole, Deaso, Lu, et al.,

Institut suchen. Der Benutzer steht auf zwei Roboterarm-Stiefelplatten, die das Gefühl erzeugen, über unterschiedliches Gelände zu gehen oder zu laufen und Treppen auf- oder abzustiegen (Youngblut et al., 1996).

3.2.2 Multidirektionale Systeme. Andere mechanische Systeme ermöglichen es dem Benutzer, sich in jede Richtung zu bewegen. Der UNIPORT der Sarcos Research Corporation basiert auf einem Einrad (Youngblut et al., 1996). Der Benutzer bleibt in einer sitzenden Position und dreht sich um einen Drehpunkt, indem er ein Drehmoment auf den Sitz ausübt. Dies bringt einen Motor dazu, sich mit einer kontrollierten Geschwindigkeit an Ort und Stelle zu drehen. (Dieses System befindet sich an der Grenze zwischen Fahrzeug- und Fortbewegungssteuerung.) Die Hände des Benutzers können eine Waffe oder andere Gegenstände frei halten.

Der virtuelle Kinderwagen (Iwata & Fujii, 1996) verwendet eine Gleitbewegung der Füße, um das Gehen anzuzeigen. Der Benutzer trägt Sandalen mit reibungsarmer Folie in der Mitte der Sohle und einem Gummibremssbelag an der Spitze. Der Benutzer gleitet auf einer reibungsarmen Oberfläche, indem er seine Füße schiebt und dabei gegen einen starren Rahmen drückt, der seine Taille umgibt. An jedem Knöchel angebrachte Positionssensoren und Kontaktsensoren an der Unterseite jedes Fußes ermöglichen es dem System, die Länge und Richtung jedes Schritts zu erkennen, um die Bewegung im VE festzulegen. In einer früheren Version wurden Rollschuhe anstelle des reibungsarmen Films verwendet. Die Platzierung des Reifens in Hüfthöhe ermöglicht es einem Benutzer nicht, ein Objekt an seiner Seite zu halten.

Das omnidirektionale Laufband, entwickelt von Virtual Space Devices, Inc. (Darken, Cockayne & Carnein, 1997) ermöglicht es dem Benutzer, in jede Richtung zu gehen. Der Mechanismus besteht aus einem Paar ineinander verschachtelter Förderbänder. Jede Spur bewegt sich horizontal und die Spuren sind senkrecht zueinander ausgerichtet. Die äußere Spur hat Rollen, so dass sie die von der inneren Spur erzeugte Bewegung überträgt. Somit können die Rollen eine Bewegung in jede Richtung auf die darauf ruhenden Füße des Benutzers übertragen. Die aktive Oberfläche der Bewegungsplattform misst 50 Zoll. 3 Es wird ein Steuerungssystem verwendet, das versucht, den Benutzer in der Mitte der Plattform zu zentrieren. Das System ist sehr effektiv darin, einem Benutzer das Gehen in einer geraden Linie in jede Richtung zu ermöglichen, und Menschen haben kaum Schwierigkeiten, auf einem geraden Weg auf eine schnelle Gehgeschwindigkeit zu beschleunigen. Drehen während des Beschleunigens kann zu einer Fehlausrichtung zwischen der Translationsrichtung des Benutzers und der Zentrierbewegung des Mechanismus führen.

1995). Es kann nur eine Vorwärtsbewegung darstellen, und eine Handsteuerung wird zum Lenken verwendet. Der Individual Soldier Mobility Simulator (ISMS) wurde von der Sarcos Research Corporation in Zusammenarbeit mit der Army Re-

Dies kann dazu führen, dass der Benutzer das Gleichgewicht verliert und stolpert. Selbst das Drehen an Ort und Stelle kann schwierig sein, da das Verfolgungssystem die Bewegung registriert und diese durch Bewegungen der Oberfläche unter den Füßen des Benutzers kompensiert. Manchmal geht die Dynamik der natürlichen Fortbewegung über das hinaus, was der ODT unterstützen kann. Menschen können sehr schnell abbremsen und in einem einzigen Schritt zum Stillstand kommen. Wenn sie sich beim schnellen Gehen drehen, können sie ihre Bewegung noch schneller umlenken.

Trägheit ist ein weiterer Faktor, der es schwierig macht, die Beschleunigung mit einer Bewegungsplattform zu simulieren. Die Trägheit aufgrund der Masse einer Person, die im ganzen Körper verteilt ist, widersteht der Beschleunigung. Hollerbach fügte dem Sarcos TREADPORT (Christensen, Hollerbach, Xu & Meek, 1998) eine aktive Leine hinzu, die den Gurt des Benutzers zurückzieht, wenn der Benutzer auf dem Laufband beschleunigt. Dies simuliert den Effekt der Trägheit, die während der normalen linearen Beschleunigung auftritt. Ein aktiver Haltegurt, der den Benutzer in jede horizontale Richtung ziehen und drücken kann, wäre erforderlich, um diesen Widerstand für das omnidirektionale Laufband bereitzustellen. Menschen spüren die lineare und Winkelbeschleunigung mit ihrem Vestibularsystem.

3.3 Beinbasierte virtuelle Lokomotionssysteme

Es hat sich ein neuer Trend entwickelt, der den sensorgestützten Ansatz der herkömmlichen Lenk- und Geschwindigkeitsregelung mit der Verwendung der Beine zur Steuerung der Bewegung kombiniert, wie dies bei mechanischen Fortbewegungssystemen der Fall ist. Sensorbasierte Systeme, die die Beinbewegung als Steueraktion zum Auslösen einer virtuellen Vorwärtsbewegung verwenden, wurden entwickelt und weisen bereits eine Reihe von Vorteilen auf. Sie eignen sich besonders gut für Fortbewegungsaufgaben, die ein hohes Maß an Manövrierfähigkeit erfordern, sowohl beim Wenden als auch beim schnellen Starten und Stoppen.

3.3.1 Unabhängig entwickeltes Bein

Systeme. Mehrere beinbasierte virtuelle Fortbewegungstechnologien

Niques wurden unabhängig voneinander entwickelt, um eine natürlichere Schnittstelle zu finden. Das US Army Research Institute entwickelte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Simulation und Training der Universität von Zentralflorida (Knerr, 1998; Singer, Ehrlich & Allen, 1998) ein fußbasiertes System, bei dem die virtuelle Vorwärtsbewegung durch Anheben des Fußes oben ausgelöst wird eine vertikale Schwelle. Die Lenkung wird durch die horizontale Ausrichtung eines Magnet-Trackers gesteuert, der auf der Rückseite zwischen den Schulterblättern getragen wird. Der Benutzer kann sich drehen, während er durch das VE fährt, indem er beim Betreten die Füße über die Schwelle hebt

Drehen Sie sich (physisch an Ort und Stelle) oder drehen Sie sich in der VE an Ort und Stelle, indem Sie seine Füße nicht über die Schwelle heben. Um sich rückwärts zu bewegen, wird ein Fuß in einem vordefinierten Abstand hinter den anderen gestellt oder geschoben, wobei beide Füße flach auf dem Boden stehen. Diese Geste bewegt den Benutzer Schritt für Schritt zurück. Gestisches seitliches Treten wird nicht unterstützt. Grant und Magee (1998) entwickelten eine sensorgestützte virtuelle Fortbewegungssteuerung, bei der sich der Benutzer im VE vorwärts bewegt, indem er seinen Fuß vorwärts oder rückwärts über den Boden schiebt. Die Bewegungsrichtung wird durch die gemittelte Richtung bestimmt, in die beide Füße zeigen (in Bezug auf die Ausrichtung des Fußes und nicht auf seine Bewegung). Fußbewegung außerhalb eines 45 Grad. Der Korridor um diese Richtung wird als tatsächliche Bewegung behandelt, sodass gestisches seitliches Treten nicht unterstützt wird. Beide beinbasierten Systeme wurden effektiv in Studien zur Benutzernavigation und zur Suche in großen VEs eingesetzt. Da diese Systeme ausschließlich auf magnetischen Trackern mit begrenzter Genauigkeit zur Messung der Fußbewegung basieren, sind sie nicht genau genug, um zu bestimmen, wann oder wo der Fuß den Boden berührt oder bricht. Die Ungenauigkeit der Tracker macht es schwierig, andere Eigenschaften des Gangs einer Person zu charakterisieren, wodurch die Gestaltungsmöglichkeiten für Steuerungstechniken eingeschränkt werden.

3.3.2 Unser erster Versuch, Walking-in zu verwenden

Platz. Das erste virtuelle Fortbewegungssystem, das wir implementiert und getestet haben, verwendete eine Kombination aus torsobasierter Lenkung und stufenbasierter Geschwindigkeitsregelung. Side-Stepping wurde nicht unterstützt. Ein Positions-Tracker wurde an der Taille des Benutzers angebracht, und Kraftsensoren (Wertsch, Webster & Tompkins, 1992) wurden unter der Kugel und der Ferse jedes Fußes auf den Einlegesohlen seiner Schuhe angebracht. Die Grundidee bestand darin, eine virtuelle Bewegung zu initiieren, wenn der Benutzer eine Eingabe machte

Platzieren Sie den Schritt und verwenden Sie die Schrittgeschwindigkeit, um die Geschwindigkeit zu steuern. Das System musste auch in der Lage sein, zwischen einem Schritt zum Drehen und einem Schritt an Ort und Stelle zu unterscheiden, um eine virtuelle Bewegung auszulösen. Die virtuelle Vorwärts- und Rückwärtsbewegung wurde durch Abdrücken des Fußballs bzw. der Ferse des Fußes angezeigt. Plattfußstufen erzeugten keine virtuelle Verschiebung und wurden zum Treten zum Drehen verwendet. Der Benutzer kann sich auch drehen, während er in der VE vorrückt, indem er den Fußballen abdrückt, während er tritt, um sich an Ort und Stelle zu drehen. Dies war einfach, wenn sich der Benutzer darauf konzentrierte und der Computer keine Probleme hatte, diese Unterschiede zu erkennen. Aber Benutzer neigten dazu, ein wenig schlampig zu werden, wenn sie anfangen, über etwas anderes nachzudenken, als darüber, wie sie traten. Obwohl neunzig Prozent ihrer Schritte ihre Absicht anzeigten, reichte der Rest aus, um die Technik zu verderben.

3.3.3 Ausdruckskraft von Schrittgesten.

Während diese Fortbewegungssteuerungen das Versprechen des beinbasierten Ansatzes versprechen, schränkt die Anwendung von Kraftsensoren allein oder magnetischen Positionsmessgeräten allein die Charakterisierung der Beinbewegung stark ein. Das Ergebnis ist, dass der Benutzer übertriebene Gesten ausführen muss, um eine klare Gestenerkennung sicherzustellen. Die Beinbewegungen einer Person, die an Ort und Stelle tritt, können sehr ausdrucksstark sein. Es liegt an der Benutzeroberfläche, so viele Informationen wie möglich aus dem Ausdruck abzuleiten. Dies erfordert möglicherweise eine umfassendere Kombination von Sensoren und ein ausgefeilteres Mustererkennungssystem, um dies zu erreichen, verspricht jedoch eine reaktionsschnellere Schnittstelle.

4 Virtuelle Lokomotive mit Gamasche

4.1 Unsere neue Lokomotionskontrolle

Wir haben eine Fortbewegungssteuerung der zweiten Generation entwickelt, mit der Benutzer ihre Bewegungen in der VE einfacher steuern können. Es werden auch viele der zuvor vorgestellten Kriterien angesprochen, um ein höheres Maß an interaktivem Realismus zu erreichen. Wir nennen das neue System *Gamasche*. Sein Design basiert auf einer verallgemeinerten Klassifizierung des menschlichen Gangs, bei der Kontrollaktionen nahtlos in natürliche Aktionen integriert werden. Die Steueraktionen in Gaiter sind

verschiedene Formen übermäßiger Beinbewegung, die in ihrer reinsten Form einfach eintritt. Die entsprechenden natürlichen Aktionen umfassen Vorwärts- und Rückwärtsgehen, Treten zum Drehen und Treten zur Seite. Der kontrollierte Effekt ist die virtuelle Fortbewegung, dh die horizontale Verschiebung des virtuellen Körpers des Benutzers in einem VE.

Die virtuelle Bewegung in Gaiter wird durch Gestikulieren gesteuert mit dem Bein. Dies wird durch die übermäßige Bewegung der Beine beim Eintreten angezeigt oder durch eine zusätzliche Beinbewegung, die zu Schritten hinzugefügt wird, die den Benutzer drehen oder verschieben. *Übermäßige Beinbewegung* ist definiert als jede Bewegung der Beine, die nicht an der physischen Verschiebung des Körpers beteiligt ist. Wenn beispielsweise das Knie beim Eintreten schaukelt (nach außen und hinten schwingt), wird die Richtung und das Ausmaß der Kniebewegung verwendet, um eine implizite horizontale Verschiebung des Körpers der Person in der VE zu berechnen. Hier und in der verbleibenden Diskussion der Begriff *virtueller Körper*,

oder nur *Körper*, wird verwendet, um den Standort des Benutzers in der VE zu beschreiben. Es verknüpft die perspektivischen Bilder mit der Wahrnehmung des Benutzers, wo er sich im virtuellen Raum befindet (manchmal auch als Person bezeichnet *egozentrisch*).

Die Kombination mehrerer Eigenschaften unterscheidet Gaiter von anderen beinbasierten Fortbewegungssteuerungen.

- (1) Es basiert auf Sensoren und ist nicht auf externe Geräte angewiesen
Bewegungsplattform.
- (2) Die Steuerung ist durch eine übermäßige Bewegung von gekennzeichnet
die Beine.
- (3) Richtung, Umfang und Zeitpunkt des überschüssigen Beins
Bewegung steuert die Fortbewegung des virtuellen Körpers.
- (4) Übermäßige Beinbewegungen können flexibel vermischt werden
mit anderen natürlichen Handlungen (wie tatsächlichen Schritten, Kopf- und
Handbewegungen, Drehpunkten, Hocken und Sprüngen).

Die aktuelle Implementierung von Gaiter verwendet ein Hybridsensorsystem (Abbildungen 1 und 2). Sechs-DOF (x, y, z , An den Knien angebrachte Roll-, Nick- und Giersensoren verfolgen die Verschiebung des Knies und die Drehung des Unterschenkels. Kraftsensoren, die auf Schuheinlagen unter dem Ball und der Ferse jedes Fußes angebracht sind, registrieren ungefähre Bodenreaktionskräfte. Gaiter verwendet die Daten der Knietracker, um Verschiebungen des Körpers in der VE zu berechnen. Die Kraftsensoren helfen dabei, das Timing jedes Schritts zu bestimmen

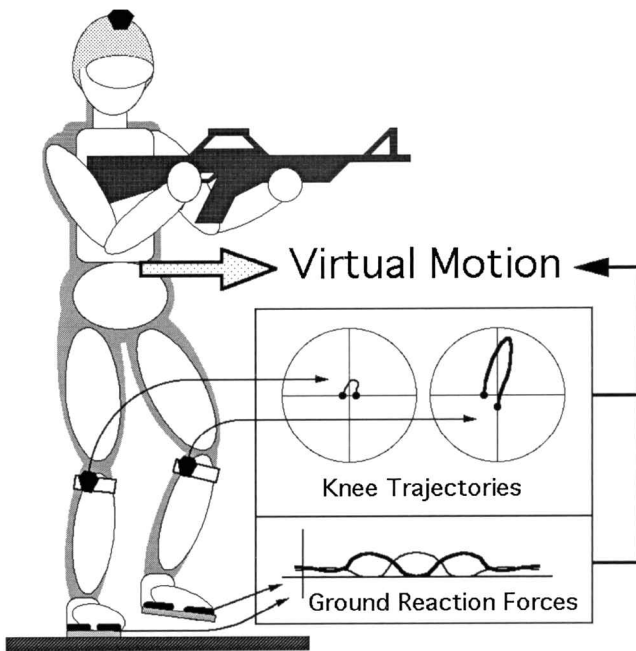


Abbildung 1. Gamasche: Schritte werden durch eine Kombination von Positions- und Kraftsensoren charakterisiert.

aufeinanderfolgende Schritte, die segmentiert werden sollen. Die Mustererkennungssoftware unterscheidet zwischen In-Place-Schritten, Drehschritten und tatsächlichen Schritten. Da das System zwischen diesen unterscheiden kann, kann der Benutzer gestische Schritte (Steueraktionen) mit tatsächlichen Schritten (natürliche Aktionen) mischen. Rein gestische Schritte bewegen den Körper virtuell. Tatsächliche Schritte bewegen den Körper sowohl in der virtuellen als auch in der realen Welt um die gleiche Distanz. Während tatsächliche Schritte die natürlichsten und genauesten Bewegungen liefern, ist ihre Reichweite begrenzt, so dass gestische Schritte verwendet werden, um große Entfernungen in der VE zurückzulegen.

Sensoren sind auch an Kopf, Taille und Handgriff angebracht, um die physische Position und Ausrichtung des Blickpunkts, des Rumpfes und der Hand zu verfolgen. Die virtuelle Verschiebung (ein akkumulierter horizontaler Versatz von der Startposition) wird aus der gestischen Schrittbewegung der Beine berechnet und dann zu den erfassten Positionen dieser Körperteile addiert, um ihre Positionen innerhalb des VE abzuleiten. Dieser Ansatz ermöglicht es verfolgten Körperteilen, sich unabhängig zu bewegen und dennoch mit der Position des virtuellen Körpers verbunden zu bleiben. In Gaiter steuert der Headtracker den Blickwinkel, der Taillentracker die Position und Ausrichtung von

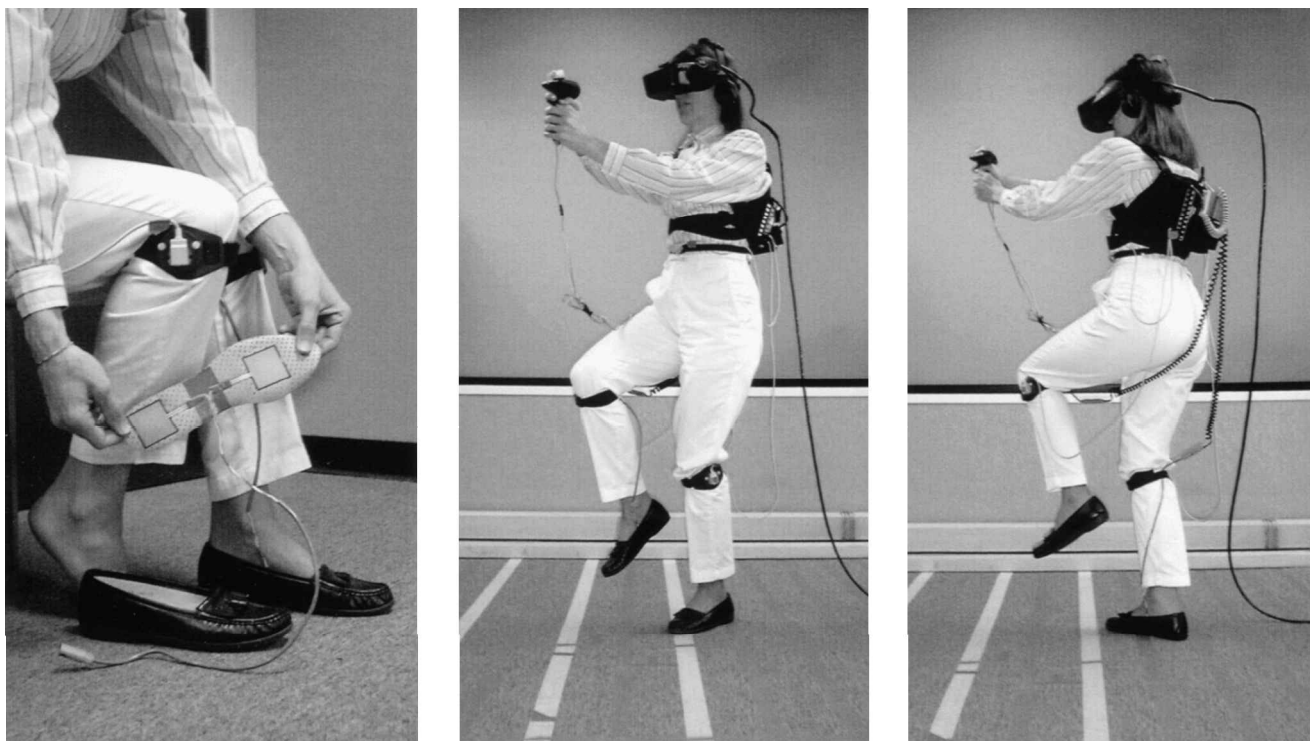
Der zentrale Körper und der Handgriff-Tracker ermöglichen die Manipulation eines Handobjekts, z. B. einer Waffe. Da Kopf, Körper und Hand dieselbe virtuelle Verschiebung aufweisen, bleiben sie „verbunden“ und bewegen sich als Teile eines einzelnen Körpers durch den virtuellen Raum. Natürlich könnten zusätzliche Körperteile (wie die andere Hand oder die Ellbogen) auf ähnliche Weise verfolgt werden.

4.2 Wie es funktioniert

Die virtuelle Bewegung in Gaiter wird durch In-Place-Stepping gesteuert. Virtuelle Schritte (oder genauer gesagt die durch gestische Schritte erzeugten virtuellen Verschiebungen) bewegen den virtuellen Körper einschließlich des Ansichtspunkts in der VE, während der Benutzer in der realen Welt lokalisiert bleibt. Der Benutzer kann sich in eine bestimmte Richtung bewegen, indem er seine Beine in diese Richtung schaukelt (Abbildungen 3 und 4). Die virtuelle Vorwärtsbewegung wird durch einfaches Gehen an Ort und Stelle erreicht. In diesem Fall schwingen die Knie vorwärts und rückwärts. Um einen virtuellen Seitenschritt nach rechts zu machen, schwingt der Benutzer sein rechtes Bein nach rechts und lässt es dann wieder nach unten fallen (nach links). Der linke Fuß wird nominell in abwechselnden Schritten angehoben und abgesenkt, was die Art und Weise nachahmt, wie der alternative Fuß dem Bleifuß in einem tatsächlichen Seitenschritt folgt. Virtuelle Rückschritte werden ausgeführt, indem die Füße nach hinten und dann nach vorne geschwenkt werden, während die Knie relativ stationär bleiben. (Rückwärtsschritte können auch

Sie können das gesamte Bein in einem nordischen Track-Stil nach hinten und dann nach vorne schwingen, obwohl diese Geste für die meisten Benutzer umständlicher ist.) In ähnlicher Weise kann sich der Benutzer durch Schaukeln mit dem VE diagonal vorwärts oder rückwärts bewegen Knie oder Füße entlang eines diagonalen Pfades. In einem Vorwärtsschritt folgt die Bewegungsrichtung dem Knie, während in einem Rückwärtsschritt der Weg dem Fuß folgt.

Da die Steueraktion in Gaiter die überschüssige Beinbewegung ist, die durch das Schaukeln der Beine während des Schrittes an Ort und Stelle entsteht, wird jede andere Bewegung der Beine als natürliche Aktion interpretiert. Dies bedeutet insbesondere, dass Gamasche mit der natürlichen Wirkung und Wirkung des Drehens des Körpers kompatibel ist. Menschen machen normalerweise keine übermäßigen Beinbewegungen, wenn sie treten oder schwenken, um sich zu drehen. Daher kann sich der Benutzer leicht an Ort und Stelle drehen. Gamasche widerspricht nicht einer Vielzahl natürlicher Bewegungen, einschließlich Springen, Hocken und anderen Arten von Körperhaltung.



Figur 2. Gamasche: Asensorbasierte Fortbewegungssteuerung, mit der sich der Benutzer durch ein VE bewegen kann, indem er an Ort und Stelle geht. Die Bewegung der Beine wird durch Kraftsensoren auf Schuheinlagen und an den Knien angebrachte Sechs-DOF-Tracker charakterisiert. Zusätzliche Sensoren an Taille, Kopf und Handgriff verfolgen die Bewegung von Körper, Blickwinkel und Pistole.

Mit Gaiter können natürliche und Kontrollaktionen intuitiv kombiniert werden. Das vielleicht beste Beispiel dafür ist ein gebogener Weg. Durch das Einführen einer übermäßigen Beinbewegung (wie das Vorwärtsschwingen der Knie) beim Schritt zum Drehen rückt der Benutzer beim Drehen vor. In ähnlicher Weise kann der Benutzer beim Drehen auch rückwärts oder seitlich gehen, um eine Vielzahl von taktischen Bewegungen auszuführen (obwohl einige davon im Vergleich zu ihren natürlichen Gegenstücken umständlicher sind als andere).

4.2.1 Virtuelle Verschiebung. Virtuelle Verschiebung ist der Schlüssel zum Verständnis der Funktionsweise von Gaiter. Jeder In-Place-Schritt trägt zur virtuellen Verschiebung bei. Dieser Beitrag ist eine Funktion der Richtung, die das Knie während seines Hinschwingens zurücklegt, und der zurückgelegten Strecke, wenn es die Richtung umkehrt und zu seinem Ausgangspunkt zurückschwingt. (Der Einfachheit halber konzentriert sich diese Diskussion auf Vorwärtsschritte vor Ort.) Sowohl die Exkursion (nach außen)

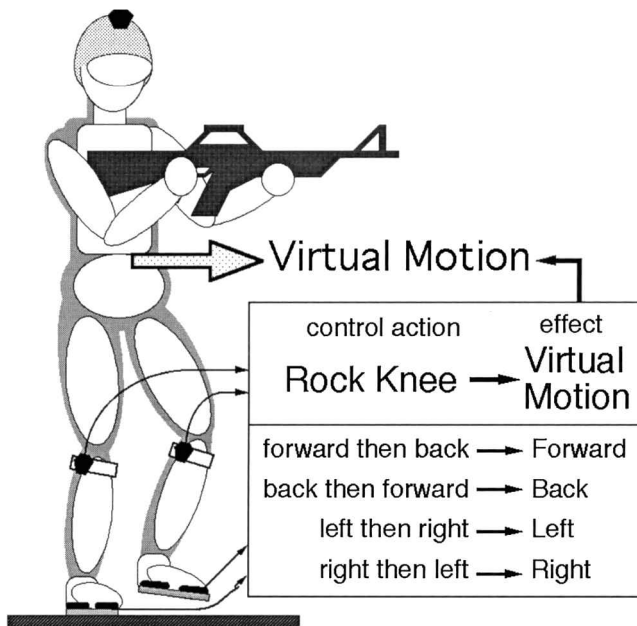
Beinbewegungen während eines In-Place-Schritts, da sie keine physische Verschiebung des Körpers erzeugen. In einem tatsächlichen Schritt bewegt sich der Körper physisch in Richtung der Kniebewegung. Es gibt nur eine sehr geringe (wenn überhaupt) Rückwärtsbewegung des Knies, und der Beitrag zur virtuellen Verschiebung ist vernachlässigbar. Da sowohl tatsächliche als auch gestische Schritte eine Auslenkung des Knies beinhalten, ist es leicht, gestische Schritte durch die Knieumkehr zu unterscheiden.

Schritte können eine Kombination aus physischer und virtueller Verschiebung erzeugen. Im Allgemeinen, *Körperliche Beinbewegung 5 Primäre Beinbewegung 1 Übermäßige Beinbewegung.*

Die primäre Beinbewegung erzeugt eine physische Verschiebung des Körpers und ist in tatsächlichen Schritten dominant, während die übermäßige Beinbewegung bei In-Place-Schritten dominant ist. Bei der Verfolgung der Bewegung des Knies sind Hybridschritte erkennbar, wenn die durch die nach außen und hinten gerichteten Schwingungen des Knies zurückgelegten Abstände ungleich sind.

Die Position zu jedem Zeitpunkt des Körpers des Benutzers in

Schwung) und Umkehrung (Einwärtsschwung) des Knies sind zu hoch. Der VE ist seine physische Position, die durch die akkumulierte Position ausgeglichen wird



Figur 3. Gamasche: Die übermäßige Bewegung der Beine, die durch Schaukeln der Beine erzeugt wird, wird verwendet, um den Körper durch ein VE zu bewegen.

virtuelle Verschiebung: *Virtuelle Position 5 Körperliche Position 1 Virtuelle Verschiebung.*

Tatsächliche Schritte aktualisieren die physische Position, ändern jedoch nicht die virtuelle Verschiebung. In-Place-Schritte aktualisieren die virtuelle Verschiebung, jedoch nicht die physische Position. In jedem Fall wird die virtuelle Position geändert, sodass sich der virtuelle Körper durch die VE bewegt. Die virtuelle Verschiebung ist

wird zu jedem (physisch verfolgten) Teil des Körpers des Benutzers hinzugefügt, um ihn in die VE zu übersetzen. Die virtuelle Position von Taille, Kopf und Händen wird auf diese Weise berechnet, während ihre Ausrichtungen direkt verfolgt werden. Die visuelle Darstellung der Position und Ausrichtung der Beine des Avatars in der VE ist schwieriger, da ein physischer In-Place-Schritt in einen Translationsschritt in der VE umgewandelt werden muss. Wir müssen die Kombination von primären und überschüssigen Beinbewegungen noch so weit enträtseln, dass wir sie als natürlich aussehende Schrittbewegungen darstellen können.

4.2.2 Schritphasen der Gamasche Die Definition eines Schritts muss sowohl die vorhandenen als auch die tatsächlichen Schritte umfassen, die unternommen werden, um den Körper in eine bestimmte Richtung zu verschieben oder zu drehen. Traditionelle Definitionen in der biomechanischen Literatur beschränken sich häufig auf die Beschreibung des Gehens oder Laufens auf einem

gerade oder geschwungene Spur. Es gab wenig Grund, andere Arten von Schrittkaktionen zu behandeln, wie z. B. seitliches Treten, Treten, um sich an Ort und Stelle zu drehen, und (insbesondere) Treten, um an Ort und Stelle zu treten. In der aktuellen Implementierung von Gaiter basieren die Start- und Endkriterien für alle Arten von Schritten auf den Kräften unter den Füßen. Schritte treten nur auf, wenn ein Fuß den Bodenkontakt unterbricht. Auf diese Weise kann das System vermeiden, auf Kniebewegungen zu reagieren, die auftreten, wenn die Füße unten sind, und die Position der Knie zu Beginn und am Ende jedes Schritts bestimmen. Obwohl Schritte durch das Brechen des Fußes und das Wiederherstellen des Bodenkontakts definiert werden, berücksichtigt eine vollständigere Analyse auch die Gewichtsverlagerung, die jedem Schritt vorausgeht und ihm folgt.

Gaiter analysiert eine Reihe von Schritten, indem er den Schrittzustand jedes Beins überwacht. Zu jedem Zeitpunkt befindet sich ein Bein in einer von drei Phasen: Abwärts (D), Auslenkung (X) oder Umkehrung (R). Die X- und R-Phasen treten auf, wenn der Fuß vom Boden abhebt und das Knie nach außen bzw. hinten geschwenkt wird. Die Auslenkung und Umkehrung des Knies charakterisieren die übermäßige Bewegung des Beins während eines virtuellen (Inplace-) Schritts; Die Umkehrung dient als Diskriminator, da sie nur während eines virtuellen Schritts auftritt. In einem tatsächlichen Schritt wechseln sich die Phasen zwischen D und X ab, während sich in einem virtuellen Schritt die Phasen zwischen D, X und R (in dieser Reihenfolge) abwechseln.

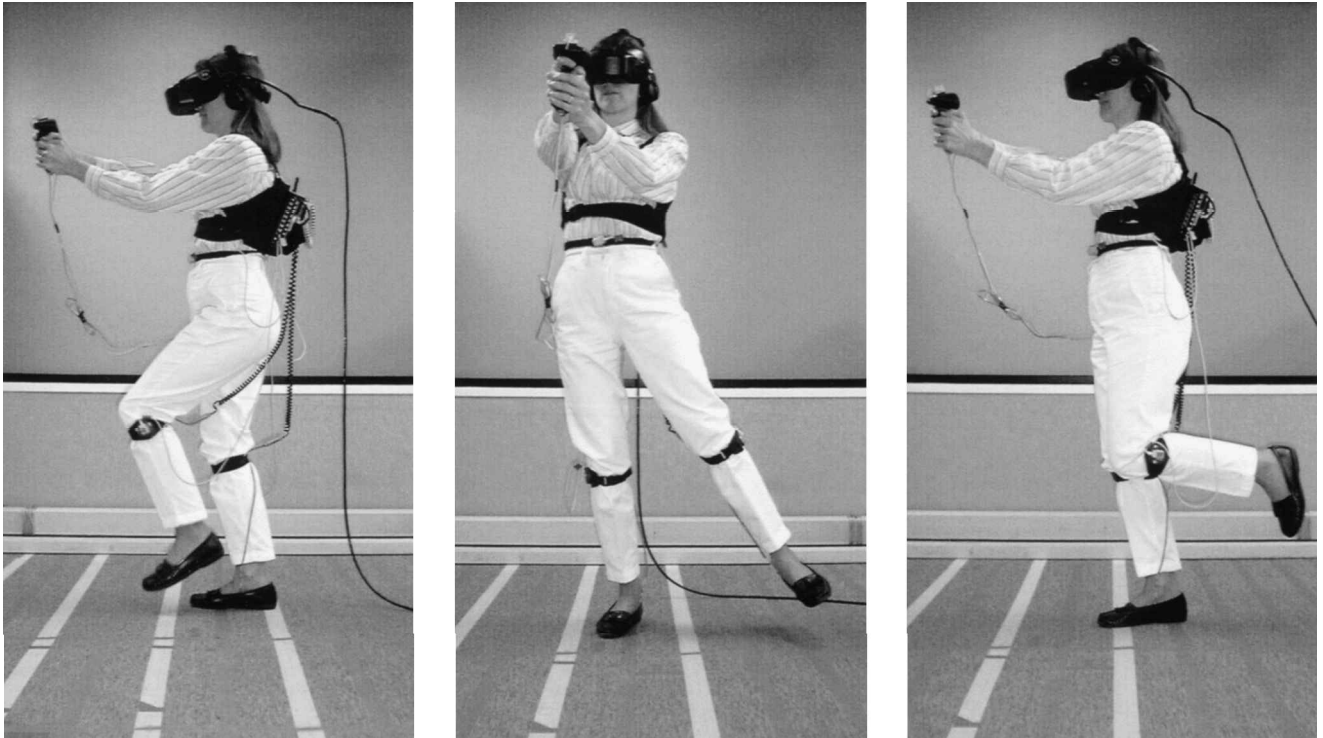
Bei einem normalen Gang wechseln sich die Phasenfolgen für jeden Schritt (D, X oder D, X, R) ab, normalerweise mit einer Zeitspanne dazwischen, in der beide Füße unten sind. Das natürliche Laufmuster, das die kombinierten Phasen für jedes Intervall als "links" - "rechts" darstellt, ist DD DX DD XD DD. . . .

Beim Einsetzen lautet das Muster DD DX DR DD XD RD DD. . . .

Bei einem laufenden Gang überlappen sich die Phasenfolgen mit einer Periode, in der beide Füße gleichzeitig vom Boden abheben, und keiner Periode, in der beide Füße gleichzeitig auf dem Boden stehen. Ein natürliches Laufmuster ist DD DX XX XD XX DX. . . .

Das Muster für den In-Place-Betrieb lautet DD DX DR XR XD RD RX DX DR. . . .

Beachten Sie, dass es in der virtuellen Fortbewegung (Gehen oder Laufen) keine XX- oder RR-Kombinationen gibt. Dies bedeutet das Springen - das XX (und gelegentlich) enthält



Figur 4. In-Place-Schrittbewegungen bewegen den Körper virtuell vorwärts, seitwärts und rückwärts, während der Benutzer in der realen Welt lokalisiert bleibt.

sional) RR-Zustände - sind immer physisch und erzeugen keine virtuelle Verschiebung.

Diese Muster zeigen, wie die Unterscheidung der Umkehrphase der Schlüssel zur Erzeugung einer virtuellen Bewegung ist. Die Bewegungsrichtung wird durch den nach außen gerichteten Weg des Knies am Umkehrpunkt bestimmt, und das Ausmaß der virtuellen Verschiebung ist eine Funktion der vom Knie zurückgelegten Strecke, wenn es in die Startposition der Stufe zurückschwingt. Das Timing hängt von der Fähigkeit der Software ab, den Anfangs-, End- und Umkehrpunkt jedes Schritts genau zu unterscheiden.

4.2.3 Schritte charakterisieren. Die Charakterisierung übermäßiger Beinbewegungen ist mit einem Zeitproblem verbunden, das die Reaktionsfähigkeit der Fortbewegungssteuerung beeinflusst: Ab wann bestimmt das System, dass ein virtueller Schritt ausgeführt wird? Bei unserer Umkehrtechnik kann die Absicht bestimmt werden, bevor der Gestikschritt abgeschlossen ist, was zu einer nur geringen Verzögerung am Anfang einer Folge von Schritten und noch weniger innerhalb einer Reihe von Schritten führt.

Da die Bewegung der Beine an den Knien verfolgt wird, wird ein Skalierungsfaktor auf die horizontale Komponente des Knies angewendet, wenn diese während der Auslenkungsphase nach außen schwingt. Die Geometrie eines In-Place-Schritts (Abbildung 5) legt nahe, dass die Skalierung des Knieexkursionsabstands um den Faktor vier eine gute Annäherung an die Verschiebung des Körpers im Verlauf eines Schritts liefert. Unsere Erfahrung mit Gaiter unterstützt dies. Der Skalierungsfaktor kann für verschiedene Gangstile und individuelle Unterschiede sowie zur Simulation von Treppen, Steigungen und Gefällen sowie verschiedenen Geländetypen geändert werden.

Bei der natürlichen Fortbewegung werden Schritte selten als einzelne Einheiten ausgeführt, sondern als Abfolgen alternierender Schritte, die den Körper in eine bestimmte Richtung treiben. Die biomechanische Literatur definiert typischerweise einen Schritt in Bezug auf ein Bein, das von einer Position, die sich hinter einer Person erstreckt, zu ihrer Ausdehnung vor ihr schwingt (in Abbildung 5 dargestellt). Wenn eine Person mit zusammengeführten Beinen aus der Ruhe geht und anhält, indem sie ihre Beine wieder zusammenbringt, sind die Anfangs- und Endschritte tatsächlich Halbschritte. Dies de-

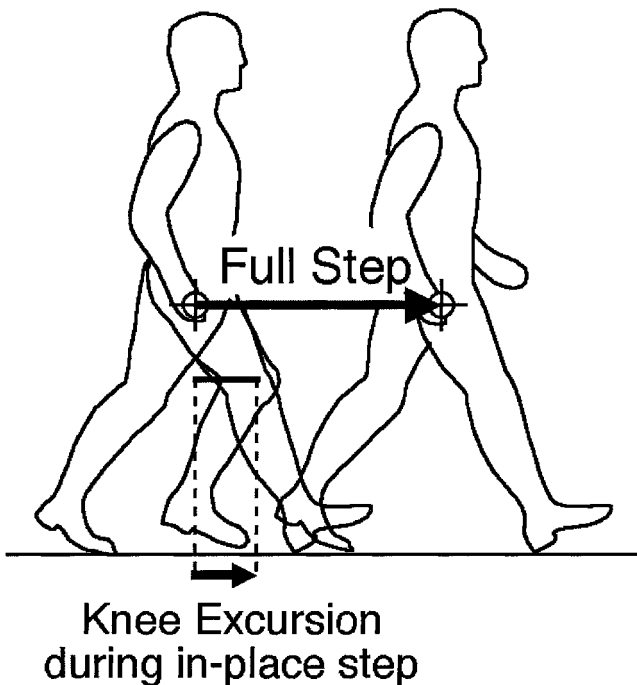


Abbildung 5. Körper- und Beinverschiebungen während tatsächlicher und vorhandener Schritte. Die

Knieexkursion während eines In-Place-Schritts deckt etwa ein Viertel der Strecke ab, die das Becken in einem vollen Schritt zurücklegt.

Der Schwanz hat einen wichtigen Einfluss auf das Timing und die Glätte der virtuellen Bewegung, da der alternative Fuß während einer Reihe von Schritten in eine Aufholphase mit dem vorderen Fuß gerät. Die virtuelle Verschiebung, die sich aus der übermäßigen Bewegung eines einzelnen Schrittes an Ort und Stelle ergibt, muss daher beibehalten und über die Auslenkungsphase des nächsten Wechselschritts angewendet werden, um einen kontinuierlicheren, natürlicheren Fortbewegungsstil zu erzielen.

4.3 Hardware-Architektur

Die aktuelle Implementierung von Gaiter läuft auf einem 200-MHz-Pentium-PC mit zwei Prozessoren unter Windows NT. Die Software führt eine Mustererkennung für Sensordaten durch, die von Füßen, Knien, Taille und Handgriff eingegeben werden. Die berechneten virtuellen Verschiebungen (zusammen mit den transformierten virtuellen Positionen der Beine, der Taille und der Hand) werden über eine serielle Verbindung an einen SGI Onyx2 gesendet, der die Modellierung, Kollisionserkennung und visuelle Wiedergabe des VE mithilfe einer internen Softwareentwicklung durchführt System (Dandekar, Templeman, Sibert & Page,

1998). Um die Betrachtungsverzögerung zu minimieren, wird die physische Position und Ausrichtung des Kopfes direkt vom Onyx2 verfolgt und dann mit der vom Gaiter-PC gesendeten virtuellen Verschiebung kombiniert, um den virtuellen Blickwinkel zu generieren. Die virtuelle Position und Ausrichtung des Körpers wird bei der Kollisionserkennung verwendet, und der Handgriff wird zum Zielen und Abfeuern einer simulierten Waffe verwendet.

Für die Echtzeit-Eingabe von Positions- und Orientierungsdaten werden zwei verschiedene Sechs-DOF-Tracking-Systeme unterstützt. Bei unserer ersten Entwicklung wurden zwei polhemische 3SPACE FASTRAK-Magnetverfolgungsgeräte verwendet, die jeweils bis zu vier Sensoren unterstützen. Positions- und Orientierungsdaten von Knien, Taille und Handgriff werden von einem der FASTRAK-Geräte erfasst und über einen seriellen Kanal an den Gaiter-PC gesendet. Der andere FASTRAK ist mit dem Onyx2 verbunden, um die Position und Ausrichtung des Kopfes zu verfolgen. In dieser Konfiguration werden Signale von den Einlagenkraftsensoren durch einen Analog-Digital-Wandler geleitet und über einen separaten seriellen Kanal an den Gaiter-PC gesendet.

Der größte Nachteil des FASTRAK ist sein angebundener Betrieb und seine kurze Reichweite (unter 4 Fuß Durchmesser). Wenn sich der Benutzer dem Manövrieren im VE zuwendet, verheddern sich die Kabel schnell, und der Benutzer muss ständig neu zentriert werden, wenn er an die Ränder des physischen Betriebsbereichs driftet. Um diese Probleme zu vermeiden, verwendet unsere aktuelle Entwicklung ein drahtloses MotionStar-Tracking-System von Ascension Technology. Der MotionStar ist eine andere Art von magnetischem Tracking-Gerät, das bis zu zwanzig Sensoren unterstützen kann, die an einer am Körper montierten Elektronikeneinheit angebracht sind. Positions- und Orientierungsdaten werden über eine Antenne an eine Basisstation und dann über eine Ethernet-Schnittstelle an den Gaiter-PC und das Onyx2-Rendering-System übertragen. Durch Kanalisieren der Kraftdaten von den Innendrucksensoren über eine zusätzliche serielle Schnittstelle an der MotionStar-Rucksackeneinheit

Das einzige verbleibende Kabel, das den Benutzer an das immersive VE-System bindet, ist an ein V8-Head-Mounted-Display (HMD) der Virtual Research Corporation angeschlossen. Der Head-Tracking-Sensor ist am HMD angebracht, der ein dynamisches perspektivisches Bild der visuellen Umgebung zeigt, wenn sich der Benutzer innerhalb des VE bewegt. Ein weiterer Ansatz, bei dem die angebundene Verkabelung entfällt

Insgesamt ist es, den Benutzer in einem Surround-Bildschirm zu platzieren. In dieser Konfiguration würde der Kopfverfolgungssensor an einem vom Benutzer getragenen Stirnband oder Helm angebracht. Wir planen, Gaiter in naher Zukunft in einer solchen Umgebung einzusetzen (Lanzagorta, Kuo & Uhlmann, 1998).

Mit dem drahtlosen Tracking-System MotionStar und HMD kann ein Benutzer in wenigen Minuten bereit sein, Gaiter zu verwenden. Eine einfache Kalibrierung pro Benutzer für die Einlegesohlenkraftsensoren ist erforderlich, bei der der Benutzer einige Sekunden lang an Ort und Stelle sein muss.

4.4 Merkmale der Gamasche

Wir haben die Gaiter-Fortbewegungssteuerung implementiert und finden sie einfach und effektiv zu bedienen. Viele der realistischen Merkmale von Gaiter ergeben sich aus der Übernahme einer übermäßigen Beinbewegung als Kontrollmaßnahme:

x Virtuelle Bewegung in jede Richtung: Mit Gaiter können Menschen in einem VE praktisch frei herumlaufen. Sie können sich vorwärts, rückwärts, seitwärts oder diagonal bewegen, ohne ihren Körper zu drehen. Sie können sich auch in jede Richtung bewegen, während sie ihren Körper drehen (z. B. im Kreis vorwärts oder rückwärts gehen).

x Ein natürliches Koordinatensystem: Gamasche arbeitet in dem geeigneten Koordinatenbezugsrahmen: der Richtung der Beinbewegung in Bezug auf die Umgebung. Andere Körperteile (Kopf, Schultern, Arme, Becken usw.) können so ausgerichtet werden, wie sie sich in natürlichen Körperhaltungen und Bewegungen befinden. Dies ermöglicht es Menschen, ihre Reflexe zu nutzen, um ihren Körper als Reaktion auf äußere Reize zu lenken.

x Kompatibilität mit anderen Aktionen: Da Gaiter nur die Körperteile verwendet, die normalerweise mit dem Gehen verbunden sind, werden die von anderen Körperteilen ausgeführten Aktionen nicht unnatürlich eingeschränkt oder beeinträchtigt. Es steht den Menschen frei, den Kopf zu drehen, um in eine beliebige Richtung zu schauen, und mit den Händen virtuelle Objekte zu manipulieren und darauf zu zeigen. Mit Gaiter können Benutzer auf natürliche Weise eine Vielzahl von Haltungsbewegungen (wie Hocken, Springen und Bücken, um sich um Objekte zu kümmern) mit gestischen Schrittbewegungen mischen.

x Einfache Aktivierung: Gamaschengestenbewegungen sind für eine Person leicht mit Zuversicht zu machen. Die Geste zum Vorwärtsgehen ist besonders einfach: Gehen Sie einfach an Ort und Stelle.

x Reaktionsschnell: Das Mustererkennungssystem muss nicht warten, bis eine Geste vollständig ist, bevor es auf Kniebewegungen reagiert. Virtuelle Bewegung als Reaktion auf tatsächliche und gestische Schritte tritt auf, wenn der Schritt ausgeführt wird.

x Ausdrucksvoll: Die Attribute des In-Place-Steppings können verwendet werden, um die Eigenschaften des natürlichen Gangs zu steuern, wie sie von der VE dargestellt werden. Die Höhe und Häufigkeit der Schritte an Ort und Stelle entsprechen der Schrittlänge und Trittfrequenz der Schritte, die der virtuelle Körper ausführt. Das System kann so eingestellt werden, dass Metriken zwischen physischem und virtuellem Raum erhalten bleiben und bestimmte Attribute der natürlichen Fortbewegung wie die wahrgenommene Geschwindigkeit und der Kalorienverbrauch übereinstimmen.

x Synergie der Kopplung von Schrittbewegungen an den optischen

Fluss: Durch die direkte Verknüpfung des optischen Flusses mit der Beinbewegung fühlt sich die Gaiter-Schnittstelle eher wie eine Simulation des Gehens als wie eine indirekte Steuerung der Fortbewegung an. Es kommt der Schaffung der interaktiven Illusion einer virtuellen Reise nahe, da sich die Trittfrequenz der Schrittbewegungen in dem widerspiegelt, was der Benutzer sieht. Dies kann das Erlernen von Fähigkeiten bei einer Vielzahl von Aufgaben erleichtern, die Fortbewegung beinhalten. Frühere Forschungen legen nahe, dass widersprüchliche sensorische Reize eine Hauptursache für Simulatorkrankheit sind (Reason, 1970). Bei Gaiter drückt das Gehen an Ort und Stelle den Kopf auf ähnliche Weise wie das tatsächliche Gehen. Dies, kombiniert mit der synthetischen Vorwärtsbewegung des Blickwinkels, die durch virtuelles Gehen induziert wird, erzeugt sensorische Hinweise, die denen des natürlichen Gehens sehr nahe kommen. Basierend auf dieser und unserer Erfahrung mit Gaiter,

x Kompakt und kostengünstig: Die zur Implementierung von Gaiter verwendete Ausrüstung ist im Vergleich zu mechanischen Bewegungsplattformen kompakt und möglicherweise kostengünstig (mit Fortschritten bei der Tracking- und immersiven Anzeigentechnologie). Natürlich erfordert es mehr Platz und Kosten als eine Desktop-Joystick-Steuerung. Wenn die Interaktionsaufgabe nicht natürlich simulieren muss

Fortbewegung in Bezug auf realistische Bewegung oder koordinierte Ausrichtung von Kopf, Hand und Körper, dann könnte eine Fahrzeugbewegungssteuerung ausreichen.

4.5 Einschränkungen der Technologie

Eine grundlegende Einschränkung von Gaiter besteht darin, dass das Gehen und Laufen an Ort und Stelle nicht dasselbe ist wie das tatsächliche Gehen und Laufen. Sie verwenden etwas unterschiedliche Muskelsätze auf etwas unterschiedliche Weise. Der Benutzer beschleunigt nicht physisch auf dem Bewegungspfad und baut keinen Impuls auf, indem er schneller an Ort und Stelle läuft. (Es kann möglich sein, den letzteren Effekt zu simulieren, indem die virtuelle Geschwindigkeit erhöht wird, wenn aufeinanderfolgende Schritte ausgeführt werden. Dies kann jedoch dazu führen, dass die erforderliche Verzögerung künstlicher erscheint.) Es ist möglich, das System so einzustellen, dass es bestimmten Attributen der natürlichen Fortbewegung entspricht (z. wahrgenommene Geschwindigkeit, natürliche Trittfrequenz, Kalorienverbrauch usw.), aber es ist unwahrscheinlich, dass ein Satz von Abstimmungsparametern alle Kriterien erfüllt.

Einige natürliche Aktionen können von Gaiter als Kontrollaktion falsch klassifiziert werden. Ein Beispiel ist das Marschieren um seiner selbst willen. Außerdem bietet Gaiter derzeit keine Steueraktionen für bestimmte Arten der Fortbewegung an, z. B. Vorwärtsspringen oder Klettern auf einer vertikalen Leiter.

Hardware-Einschränkungen wirken sich auch auf die Fähigkeit des Gamaschen aus, die Bewegung der Beine und anderer Körperteile in Echtzeit angemessen zu charakterisieren. Gaiter ist eine sensorgestützte Fortbewegungstechnik, die auf zeitnahen und genauen Positions- und Orientierungsmessungen mit sechs DOF beruht. Die von uns verwendeten elektromagnetischen Tracker sind zwar klein, flexibel und ermöglichen (in der MotionStar-Konfiguration) den Betrieb ohne Kabel, sie leiden jedoch unter verrauschten Signalen und fehlerhaften Messwerten aufgrund elektromagnetischer Interferenzen mit Metall und anderen elektrischen Geräten in der Umgebung. Das Kalibrieren und Filtern der Sensordaten kann einige dieser Probleme lindern, verschlechtert jedoch häufig die Leistung in anderen Bereichen, wie z. B. der Latenz (Ghazisaedy, Adamczyk, Sandin, Kenyon, et al., 1995; Livingston & State 1997; Nixon, McCallum, Fright) & Price, 1998). Andere Sensortechnologien sind verfügbar, aber jedes weist eine andere Reihe von Einschränkungen auf. Optische Tracker unterliegen Einschränkungen der Sichtlinie und erfordern einen hohen Verarbeitungsaufwand. Akustische Tracker reagieren auch empfindlich auf Hintergrundgeräusche

Variabilität in Lufttemperatur, Druck und Luftfeuchtigkeit.

Inertial Tracker sind von Natur aus quellenlos, liefern jedoch nur drei DOF-Orientierungswerte, die dazu neigen, im Laufe der Zeit zu "driften".

Auf der Ausgabeseite bieten aktuelle Display-Rendering-Systeme einen begrenzten Realismus von Echtzeitbildern. Derzeit verfügbare HMDs, die leicht genug sind, um beim Gehen getragen zu werden, bieten ein begrenztes Sichtfeld (typischerweise 50 Grad), a begrenzte Bildschirmauflösung (normalerweise 640) 3 480 Pixel), eine feste Schärfentiefe, und sind häufig angebunden. Die Verzögerung aufgrund von Sensorübertragung, Bilderzeugung und Anzeige trägt zur Reisekrankheit bei (DiZio & Lackner, 1992).

4.6 Potenzielle Anwendungen

Eine offensichtliche Anwendung für Gaiter liegt im Bereich des MOUT-Trainings (Military Operations in Urban Terrain) und der Missionsprobe. Kampffertigkeiten sind geistig und körperlich anstrengend und erfordern, dass eine Person unter Stress zeitkritische Reaktionen ausführt. Als Teil eines umfassenden Teamsimulators würde Gaiter es Soldaten ermöglichen, Techniken und Teamkoordination zu üben, um ihre taktische Expertise zu verbessern. Lehrbuchkonzepte wie die Wirksamkeit überlappender Feuerfelder, Deckung und Verschleierung sowie Feuer und Bewegung können unter verschiedenen Bedingungen aus erster Hand erlebt werden. Zu den Fähigkeiten der Teamkoordination gehören die Aufrechterhaltung des Bewusstseins für den Standort anderer Teammitglieder, die Kommunikation zwischen verteilten Einheiten und die umfassende Sicherheit. Die Marine in

Konstrukteure, die Gaiter ausprobiert haben, schätzen den gesamten Bewegungsumfang, der durch die Steuerung ermöglicht wird. Gaiter wird ein neues Trainingssystem ergänzen, das vom Marine Corps entwickelt wird und SUTT (Small Unit Tactical Trainer, ehemals Team Tactical Engagement Simulator oder TTES) heißt. SUTT wird von der Abteilung Trainingssysteme des Naval Air Warfare Center (NAWC / TSD) und Southwest Research entwickelt, um MOUT-Fähigkeiten in eingesetzten Umgebungen zu trainieren (Goodman, Porter & Standridge, 1997).

Eine weitere mögliche Anwendung ist die Brandbekämpfung an Bord. Das Navy Technology Center für Sicherheit und Überlebensfähigkeit des Naval Research Laboratory entwickelte ein Modell von

Teile der Ex-USS Shadwell, des umfassenden Feuerforschungs- und Testschiffs der Marine, um die Machbarkeit der Verwendung eines immersiven VE als Werkzeug für das Brandbekämpfungstraining an Bord und die Missionsprobe an Bord zu testen (Tate, Sibert, Williams, King, et al., 1995). Mit einem 6-DOF-Joystick als Fortbewegungsgerät zeigten Feuerwehrleute der Marine, die in dem dreidimensionalen Modell mit Feuer- und Raucheffekten zur Simulation der tatsächlichen Brandbekämpfungsbedingungen übten, eine bessere Leistung als diejenigen, die nur anhand der Schiffsdiagramme (Tate, Sibert & King) übten (1997). Wir glauben, dass die Verwendung von Gaiter als Fortbewegungssteuerung eine realistischere Bewegung ermöglichen und den Trainingseffekt weiter verbessern würde.

4.7 Aktuelle und zukünftige Direktion

4.7.1 Testen und experimentelle Auswertung.

Zum Testen von Gaiter haben wir die Reihe von Fortbewegungsaufgaben verwendet, die als Teil von VEPAB, ARIs VE Performance Assessment Battery (Lampton, Knerr, Goldberg, Bliss, et al., 1994) beschrieben wurden. Wir haben auch Modelle der von Paradigm, Inc. entwickelten Quantico Village-Datenbank für das Team Tactical Engagement System für NAWC / TSD und das von Tate am NRL entwickelte Schiffsinnere der Ex-USS Shadwell (Tate et al., 1997). Mit diesen Modellen können wir Gaiter in einer Vielzahl interessanter virtueller Räume einstellen und testen.

Wir entwerfen derzeit ein Experiment, in dem Gaiter mit zwei anderen virtuellen Fortbewegungssteuerungen verglichen wird: einer kopfbasierten Steuerung (Bewegung, bei der Ihr Kopf zeigt) und einer Desktop-Steuerung (die einen Joystick zur Steuerung der Interaktion verwendet). Die Aufgaben, die wir verwenden werden, reichen von der einfachen Fortbewegung auf Fluren bis zur komplexeren Aufgabe, ein Gebäude von Schützen zu räumen und gleichzeitig die Exposition gegenüber ihnen zu minimieren. Unsere Hypothese ist, dass Menschen Aufgaben mit den drei verschiedenen Steuerelementen unterschiedlich ausführen und die Reihenfolge der Aktionen (einschließlich Schauen, Bewegen und Manipulieren), die sie mit Gaiter ausführen, am besten mit der Art und Weise übereinstimmt, wie Soldaten die Aufgabe in der realen Welt ausführen.

4.7.2 Alternative Charakterisierungen. Wir werden andere Möglichkeiten zur Charakterisierung der Beinbewegung untersuchen

und es in virtuelle Bewegung verwandeln. Jede Technik beinhaltet Kompromisse zwischen der Reaktionsfähigkeit in der Bewegung und der Fehlklassifizierung verschiedener Arten natürlicher Bewegung. Zum Beispiel könnte man die Bewegung des Beckens relativ zu der der Knie verwenden, um die überschüssige Bewegungscharakteristik zu unterscheiden. Wenn während der Knieexkursion nur eine geringe Vorwärtsbewegung des Beckens festgestellt wird, wird ein Schritt an Ort und Stelle ausgeführt. Ein Vorteil dieses Ansatzes wäre eine Erhöhung der Reaktionsfähigkeit, da ein virtueller Schritt vor der Knieumkehr unterschieden werden könnte.

4.7.3 Avatar-Entwicklung. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung eines von Gaiter gesteuerten Avatars. Ein Avatar hat zwei wichtige Verwendungszwecke. Es ermöglicht dem Benutzer zu sehen, wie sein Körper in die VE passt, was dem Benutzer ein besseres Gefühl des Eintauchens gibt (Slater et al., 1995; Singer et al., 1998). Mit einem Avatar können auch andere Personen die Pose und den Standort des Benutzers in der VE sehen, was die Kommunikation und Interaktion in Mehrbenutzerszenarien erleichtert. Die Herausforderung bei der Entwicklung eines Gaiter-Avatars besteht darin, die Kontrollaktionen (In-Place-Stepping) so natürlich wie möglich an die kontrollierten Effekte (Virtual Stepping) anzupassen. Das Match wird nicht perfekt sein und es bleibt abzuwarten, wie tolerant Benutzer gegenüber jeglicher Art von Nichtübereinstimmung sein werden.

5 Schlussfolgerungen

Viele Interaktionen zwischen wahrnehmungsmotorischen Systemen und Bewegungssteuerungen von Kandidaten umfassen Schauen, Manipulieren, Drehen des Körpers, Haltung und Denken. Diese Interaktionen schränken die vielversprechendsten Ansätze für Techniken ein, die die virtuelle Fortbewegung mithilfe der Bewegung der Beine steuern. Unser erster Versuch an

Der Aufbau einer beinbasierten Steuerung stellt eine zu hohe Belastung für den Benutzer dar, um spezielle Schritte ausführen zu können. Anschließend haben wir Positions-Tracker auf den Knien mit den Einlagenkraftsensoren kombiniert, um einen Laufsimulator namens Gaiter zu erstellen. Gamasche bietet ein konsistentes Mittel, um virtuelle Schritte in jede Richtung zu unternehmen, und ist mit einer Vielzahl anderer natürlicher Aktionen kompatibel. Es ist reaktionsschnell, ausdrucksstark und kommt der interaktiven Illusion einer virtuellen Reise nahe. Weil virtuelle Fortbewegung mit Gaiter

ist so ähnlich wie natürliches Gehen, dass wir erwarten, dass Benutzer Bewegungsstrategien in VEs anwenden, die denen ähneln, die sie in der realen Welt anwenden würden, und dass reflexive Fähigkeiten, die in einer VE geübt werden, vollständiger auf reale Situationen übertragen werden.

Bestätigung s

Wir möchten Rob Page und Justin McCune danken, die die interaktive Software zur Implementierung der virtuellen Umgebung entwickelt haben. Wir möchten uns auch bei Kapil Dandekar bedanken, der Pionierarbeit bei der Entwicklung unserer VE-Softwareplattform geleistet hat. Ha Duong und Adrian Blarovich, die Schaltkreise und Verkabelungen zur Implementierung von Gaiter entwickelten; Josh Davies, der Modelle für die virtuelle Umgebung erstellt hat; und Rob Lindeman, der redaktionelle Kommentare lieferte. Gaiter wurde entwickelt und wird im Rahmen des von Terry Allard gesponserten ONR 6.2 Virtual Environment Technology-Programms, NRL 6.1-Grundfinanzierung in Controls for Synthetic Environments und NRL 6.2-Grundfinanzierung in Multi-Modal Interaction verfeinert und evaluiert.

Verweise

Bowman, D., Koller, D. & Hodges, L. (1997). Reisen Sie in Mersive virtuelle Umgebungen: Eine Bewertung der Techniken zur Bewegungssteuerung von Blickwinkeln. *Proc. des IEEE International Reality Annual International Symposium (VRAIS'97)*, 45–52. Brooks, FP, Airey, J., Alspaugh, J., Bell, A., Brown, R., Hill, C., U. Nimscheck, P. Rheingans, J. Rohlf, D. Smith, D. Turner, A. Varshney, Y. Wang, H. Weber & X. Yuan (1992). *Sechs Generationen von Komplettlösungen: Technischer Abschlussbericht an die nationale Wissenschaftsstiftung*. ((Technik. Rep.-Nr. TR92-026). Chapel Hill, NC: Institut für Informatik, Universität von North Carolina.

Chance, S., Gaunet, F., Beall, AC & Loomis, JM (1998). Der Fortbewegungsmodus beeinflusst die Aktualisierung von Objekten, die während der Reise angetroffen werden: Der Beitrag von vestibulären und propriozeptiven Eingaben. *Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen*, 7 (2), 168–178.

Christensen, R., Hollerbach, JM, Xu, Y. & Meek, S. (1998). Trägheitskraftrückmeldung für eine Fortbewegungsschnittstelle. *Proc. der ASME Dynamic Systems and Control Division*, 64, 119–126. Dandekar, K., Templeman, J., Sibert, L. & Page, R. (1998). *The Hobbes, Softwarearchitektur für virtuelle Umgebungen*

Schnittstellenentwicklung. ((Technischer Bericht NRL / FR / 551098-9876). Washington, DC: Marineforschungslabor. Darken, RP, Cockayne, WR & Carnein, D. (1997). Das omnidirektionale Laufband: Ein Fortbewegungsgerät für virtuelle Welten. *Proc. von ACM User Interface Software and Technology* ((UIST '97), 213–221. DiZio, P. & Lackner, JR (1992). Raumorientierung, Adaptation und Reisekrankheit in realen und virtuellen Umgebungen. *Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen*, 1 (3), 319–328.

Fairchild, KM, Lee, BH, Loo, J., Ng, H. & Serra, L. (1993). Die virtuelle Realität von Himmel und Erde: Entwerfen von Anwendungen für Anfänger. *Proc. des IEEE International Reality Annual International Symposium (VRAIS '93)*, 47–53. M. Ghazisaedy, D. Adamczyk, D. Sandin, R. Kenyon & DeFanti, T. (1995). Ultraschallkalibrierung eines Magnet-Trackers in einem Virtual-Reality-Raum. *Proc. des IEEE International Reality Annual International Symposium (VRAIS '95)*, 179–188. S. Goodman, S. Porter & R. Standridge (1997). Auswertung und Bewertung eines fortschrittlichen Technologie-Demonstrators für virtuelle Umgebungen. *Proc. von ITSEC*, 65–75. Grant, SC & Magee, LE (1998). Navigation in einer virtuellen Umgebung mit einer Walking-Schnittstelle. In SL Goldberg und JA Ehrlich (Hrsg.), *Die Fähigkeit der virtuellen Realität, militärische Anforderungen zu erfüllen* (S. 81–92). New York: NATO. J. Horey, D. Fowlkes & R. Reir (1995). Militäroperationen MOUT-Training (Urbanized Terrain) in synthetischen Umgebungen mit dem Team Target Engagement Simulator (TTES). *Proc. der 17. jährlichen Interservice / Industry Training Systems and Education Conference*, 671–679. Iwata, H. & Fujii, T. (1996). Virtueller Kinderwagen: Ein Roman Schnittstellengerät zur Fortbewegung in der virtuellen Umgebung. *Proc. des jährlichen internationalen Symposiums der IEEE Virtual Reality* ((VRAIS '96), 60–65. Knerr, BW (1998). Schnittstellenprobleme bei der Verwendung virtueller Umgebungen ruments für die Ausbildung von abmontierten Soldaten. In SL Goldberg und JA Ehrlich (Hrsg.), *Die Fähigkeit der virtuellen Realität, militärische Anforderungen zu erfüllen* (S. 171–186). New York: NATO. Lampton, DR, Knerr, BW, Goldberg, SL, Bliss, JP, Moshell, JM & Blau, BS (1994). Die Batterie zur Leistungsbewertung der virtuellen Umgebung (VEPAB): Entwicklung und Bewertung. *Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen*, 3 (2), 145–157. L. Lanzagorta, E. Kuo & J. Uhlmann (1998). GROTT

- Visualisierung zur Entscheidungsunterstützung. *Proc. von SPIE Aerosense 98*, 165–176.
- Livingston, MA & State, A. (1997). Magnetic Tracker kalibrierung für eine verbesserte Augmented Reality-Registrierung. *Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen*, 6 (5), 532–546.
- Lorenzo, M., Poole, D., Deaso, R., Lu, Y., Kekesi, A., Cha, J., Slayton, D., Williams, M., Moulton, R., Kaste, V., MacKrell, W., R. Paddison, J. Rieks, W. Roth & F. Wodoslawsky (1995). OSIRIS. *Visual Proc. von ACM SIGGRAPH'95*, 129.
- Nixon, MA, McCallum, BC, Fright, WR & Price, NB (1998). Die Auswirkungen von Metallen und Störfeldern auf elektromagnetische Tracker. *Präsenz: Teleoperatoren und virtuelle Umgebungen*, 7 (2), 204–218.
- Grund, JT (1970). Reisekrankheit: Ein Sonderfall von Sensor Umlagerung. *Fortschritt in der Wissenschaft*, 26, 386–393. Sängner, MJ,
- Ehrlich, JA & Allen, RC (1998). *Wirkung von a Körpermodell zur Leistung in einer Suchaufgabe für virtuelle Umgebungen*. ((Technik. Rep. 1087). Orlando: Forschungsinstitut der US-Armee für Verhaltens- und Sozialwissenschaften.
- Slater, M., Usoh, M. & Steed, A. (1995). Schritte unternehmen: Die Einfluss einer Gehtechnik auf die Präsenz in der virtuellen Realität. *ACM-Transaktionen zur Computer-Mensch-Interaktion*, 2 (3), 201–219.
- Tate, DL, Sibert, L., Williams, FW, King, LCDR T. & Hewitt, DH (1995). *Machbarkeitstests zur Brandbekämpfung / Schiffskennntnis in der virtuellen Umgebung an Bord der Ex-USS Shadwell*. ((Ltr Rept 6180 / 0672.1). Washington, DC: Marineforschungslabor.
- Tate, DL, Sibert, L. & King, LCDR T. (1997). Virtuelle Umgebungronments für das Brandbekämpfungstraining an Bord. *Proc. des IEEE International Reality Annual International Symposium (VRAIS '97)*, 61–68.
- Youngblut, C., Johnson, RE, Nash, SH, Wienclaw, RA, & Will, CA (1996). *Überprüfung der Schnittstellentechnologie für virtuelle Umgebungen*. ((Technik. Rep.-Nr. IDA Paper P-3186, Log: H 96–001239). Alexandria, VA: Institut für Verteidigungsanalysen. Wells, M., Peterson, B. & Aten, J. (1996). *Die virtuelle Bewegung Controller: Ein Bewegungssimulator mit ausreichender Bewegung*. ((Technischer Bericht: R-96-4). Seattle: Human Interface Technology Laboratory (HITLab), Universität von Washington. JJ Wertsch, JG Webster & WJ Tompkins (1992). Ein tragbares Einlegesohlen-Plantardruckmesssystem. *Journal of Rehabilitation Research Development*, 29 (1), 13–18.