

Echtes Walking in Place: HEX-CORE-PROTOTYPE Omnidirektionales Laufband

Ziyao Wang *

Haikun Wei †

KanJian Zhang ‡

Liping Xie § §

Schule der Automatisierung
Southeast University

EIN BSTRACT

Fortbewegung ist eines der wichtigsten Probleme in der virtuellen Realität. Ein echtes Wandererlebnis ist der Schlüssel, um die virtuelle Welt umfassend zu erkunden. Es wurden verschiedene Strategien vorgeschlagen, um das Problem zu lösen, aber die meisten sind nicht geeignet, um das Fortbewegungsproblem in Room-Scale VR zu lösen. Das omnidirektionale Laufband ist eine effektive Möglichkeit, ein natürliches Lauferlebnis innerhalb der Room-Scale VR zu bieten. In diesem Artikel wird ein neuartiges omnidirektionales Laufband mit dem Namen HEX-CORE-PROTOTYPE (HCP) vorgeschlagen. Das Prinzip der Synthese und Zerlegung der Geschwindigkeit wird angewendet, um ein omnidirektionales Geschwindigkeitsfeld zu bilden. Unser System könnte ein volles Maß an Freiheit und echtes Lauferlebnis bieten. Im Vergleich zum derzeit besten System beträgt die Höhe von HCP nur 40%.

Indexbegriffe: Human-Centered Computing - Menschlicher Computer
Interaktion (HCI) - Interaktionsparadigmen - Virtuelle Realität; Rechenmethoden - Computergrafik - Grafiksysteme und Schnittstellen - Virtuelle Realität

1 I. EINLEITUNG

Mit der rasanten Entwicklung der virtuellen Realität (Virtual Reality, VR) könnten viele kommerzielle VR-Produkte den Benutzern ein umfassendes Erlebnis bieten. Die Head-Mounted Displays (HMDs) bieten ein echtes visuelles Erlebnis. Die Steuerungen bieten eine vorläufige Erfahrung in der Interaktion mit der natürlichen Umgebung. Nur die visuellen, akustischen und interaktiven Erlebnisse reichen jedoch nicht aus. Egal in der virtuellen oder realen Welt, das größte Vergnügen ist die Erkundung der Welt. Die natürliche Fortbewegung ist eines der wichtigsten Probleme für die Interaktion mit der Umwelt und die Erfahrung in der VR [31]. Es wurden verschiedene Lösungen vorgeschlagen, wie z. B. Gehen in einem großen Raum, Controller-basiert, Gehen an Ort und Stelle, umgeleitetes Gehen und omnidirektionales Laufband. Die meisten Lösungen sind jedoch nicht geeignet, um das Fortbewegungsproblem in Room-Scale VR zu lösen. *m2*.

Das Gehen in einem großen Raum [32] ist die intuitivste Lösung. Es kann ein 1:

1-Fortbewegungserlebnis zwischen der realen und der virtuellen Welt bieten. Der offensichtliche Mangel besteht jedoch darin, dass der reale Weltraum den virtuellen Weltraum begrenzt. Wenn wir uns in der realen Welt der Wand nähern, können wir in der virtuellen Welt keinen Schritt mehr machen.

Um die Platzbeschränkung zu überschreiten, ist die Verwendung der Handsteuerung zur Steuerung der Richtung und Geschwindigkeit der Fortbewegung die einfachste Methode. Dies kann jedoch zu einer schweren 3D-Reisekrankheit führen [16–18]. Die Teleportation ist eine andere Möglichkeit, die auf dem Handheld-Controller basiert [17]. Aufgrund des Mangels an Erkenntnis auf dem Zwischenpfad wirkt sich diese Methode auf die Positionierung des aktuellen Standorts und der Ergebnisse aus

*E-Mail: zy.wang@seu.edu.cn

†E-Mail: hkwei@seu.edu.cn, korrespondierender Autor

‡E-Mail: kjzhang@seu.edu.cn

§§E-Mail: lpxie2007@gmail.com

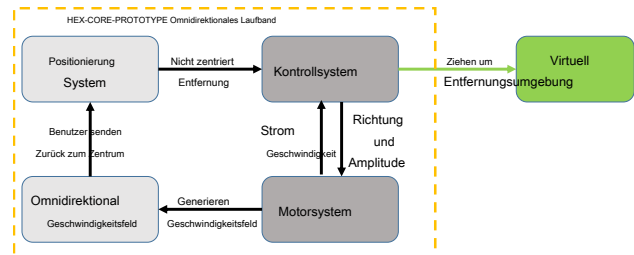


Abbildung 1: Das Flussdiagramm des HCP-Systems. Zunächst berechnet das Positionierungssystem den außergerichteten Abstand der Benutzer. Dann steuert das Steuersystem den Motor, um ein Geschwindigkeitsfeld mit einer bestimmten Richtung und Amplitude zu erzeugen. Benutzer im Geschwindigkeitsfeld werden zurück in die Mitte geschickt. Die Ausgabeinformationen von HCP sind die Bewegungsentfernung der Benutzer. Sie könnte vom Steuerungssystem auf der Grundlage des außergerichteten Abstands und der aktuellen Geschwindigkeit berechnet werden.

im Wegverlust. Eine übliche kommerzielle Lösung kombiniert das Gehen in großen Räumen und die Handheld-Controller-Methode miteinander. Wenn Benutzer sich der Grenze der realen Welt nähern, können sie den Controller verwenden, um sich an einen anderen Ort in der virtuellen Welt zu teleportieren. Dies wird jedoch die Kontinuität der Benutzererfahrung stören und zu einer Verringerung des Eintauchens führen.

Walk-in-Place (WiP) könnte eine bessere Erfahrung bieten als der Handheld-Controller [9, 30, 34]. Diese Methode ersetzt das natürliche Gehen durch bestimmte Aktionen wie Joggen [9, 15, 21, 23], Armschwingen [24, 34] usw. Diese Proxy-Aktionen widersprechen jedoch den üblichen Gewohnheiten, d.h. Gehen mit Ihrem Bein und Berühren mit der Hand. Maßnahmen zum Ersetzen der Fortbewegung sind begrenzt und verursachen häufig Missbrauch. Wenn wir beispielsweise die Armschwingstrategie anwenden, können wir den Arm nicht schwingen, wenn wir etwas mit zwei Händen schlagen möchten. Darüber hinaus kann diese Strategie nur Fortbewegungsfunktionen mit geringen Freiheitsgraden bereitstellen. Benutzer können sich nur in begrenzten Ausrichtungen bewegen, die den spezifischen Proxy-Aktionen entsprechen. Wie die Vorwärts-, Rückwärts- und Seitenbewegungen (rechts und links) [33] erfordern 4 Proxy-Aktionen. Es ist unmöglich, verschiedene Aktionen synchron auszuführen. Wenn wir also diagonale Bewegungen benötigen, sollten einige andere spezifische Proxy-Aktionen entworfen werden.

Redirected Walking (RDW) ist eine effektive Strategie, um den großen Raum zu komprimieren. Es nutzt die Unempfindlichkeit des menschlichen Körpers gegenüber leichten Rotationen und Translationen und nutzt die visuelle Dominanz, um den physischen Pfad des Benutzers subtil zu manipulieren [3, 4, 19, 23, 26]. RDW verfeinert den physischen Pfad, um Benutzer dazu zu führen, in der grenzenlosen virtuellen Welt innerhalb des begrenzten realen Weltraums zu wandeln. Diese Strategie könnte eindringlichere und unbegrenzte Erfahrungen bieten. Der Mindestbedarf an Platz beträgt ca. 7 m im Radius oder 200 m² [4]. Bei Anwendung dieser Strategie können sich Benutzer nicht zu schnell bewegen. Andernfalls bemerken Benutzer die Änderungen im physischen Pfad und führen zu Reisekrankheit. Das omnidirektionale Laufband (ODT) könnte dem Benutzer realistische Lauferlebnisse bieten, während der Benutzer an Ort und Stelle bleibt [1]. Das Laufgefühl in ODT ähnelt dem traditionellen Laufband, kann sich jedoch in jede Richtung bewegen. Der einzige Nachteil von ODT im Vergleich zu anderen Methoden ist die Notwendigkeit eines speziellen mechanischen Geräts. Cur-

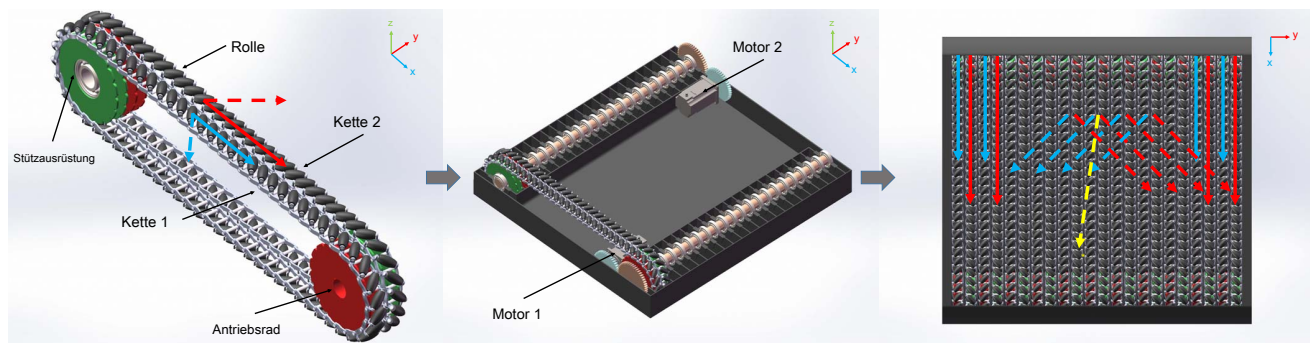


Abbildung 2: Der mechanische Aufbau des omnidirektionalen Geschwindigkeitsfeldes. Das linke Bild zeigt die Kernkomponenten unseres Schemas, dh die beiden spiegelsymmetrischen Ketten. Jede Kette enthält ein Stützzahnrad, ein Antriebszahnrad und eine Anzahl von Rollen, die geneigt sind 45°. Das mittlere Bild zeigt, dass diese beiden Arten von Ketten jeweils von zwei identischen Servomotoren angetrieben werden. Die rechte Abbildung zeigt die Struktur der Systemoberfläche, nachdem die beiden Arten von Ketten abwechselnd angeordnet wurden.

Miententwurfsschemata können die omnidirektionale Funktion vorab realisieren. Es gibt noch einige Mängel, die verbessert werden müssen, wie z. B. mühsame Verwendung, Totzone, geringer Freiheitsgrad und Sperrigkeit. Dieses Papier konzentriert sich auf diese Probleme und schlägt ein neuartiges omnidirektionales Laufbandsystem namens HEX-CORE-PROTOTYPE (HCP) vor, das ein volles Maß an Freiheit und echte Geherfahrung bieten könnte. Es gibt keine Totzone in HCP und die Höhe beträgt nur 40% des derzeit besten Systems.

2 R. BEGEISTERT W. ORK

ODT enthält mehrere Entwurfsschemata. Die reibungsarme Oberfläche ist ein einfaches Schema [2, 6, 10]. Die Benutzer stehen auf einer reibungsarmen Oberfläche, wie der kugelgelagerten Oberfläche, der Oberfläche aus Polytetrafluorethylen (PTFE), und ihre Taille ist an die Maschine gebunden. Genauer gesagt gleiten Benutzer auf der Oberfläche. Viele kommerzielle Produkte basieren auf diesem Prinzip, wie der Kat Walk, Virtuix Omni, Cyberth Virtualizer usw. Es ist für Benutzer leicht, die Reibung der Vorwärtsbewegung zu überwinden, für die anderen Richtungen ist es jedoch sehr schwierig. Benutzer können sich nur mühsam vorwärts und nicht normal rückwärts oder seitwärts bewegen [6]. Ein weiteres Problem ist, dass die Entfernungsmessung ungenau ist. Der Kat Walk 1 und Virtuix Omni 2 basieren auf der Trägheitsmesseinheit (IMU), um eine omnidirektionale Fortbewegung zu realisieren. Dies ist eine im WiP-System [9, 30, 34] übliche Methode, um die Schritte zu zählen, jedoch nicht die Entfernung.

CirculaFloor [13] und String Walker [14] sind zwei interessante Schemata, die von H Iwata usw. entworfen wurden. CirculaFloor verwendet 4 Fußpolster, um den Benutzer zurückzubringen, und Hiroo verwendet mehrere Saiten, um die Schuhe zurück in die Mitte zu ziehen. Die dynamische Leistung und Sicherheit müssen verbessert werden.

CyberCarpet [8, 28] legt eine Schicht Stahlkugeln auf ein traditionelles Laufband. Das Drehen des Laufbandes wirkt sich nicht auf den Benutzer aus, der auf der Plattform steht. Daher kann es Benutzern eine omnidirektionale Bewegung bieten. Da das Laufband unter der Stahlkugelschicht nur langsam gedreht werden konnte, kann der Benutzer die Bewegungsrichtung nicht schnell ändern. StriderVR ist ein kommerzielles Produkt, das im Prinzip CyberCarpet ähnelt. Der Unterschied besteht darin, dass StriderVR die Schicht aus Stahlkugeln dreht, nicht jedoch das Laufband. Es hat jedoch das gleiche Problem wie das erste.

Omnideck [5] verwendet eine Reihe von Rollen, um eine Plattform zu konstruieren. Jede Walze dreht sich in Richtung Plattformmitte, wodurch ein Geschwindigkeitsfeld entsteht, das sich nach innen zusammenzieht. Benutzer werden in das Zentrum geschickt, wenn sie auf der Plattform stehen. Der Nachteil ist, dass das anders ist

¹ <https://www.manualslib.com/manual/1474138/Kat-Vr-Walk.html>

² <https://www.roadtovr.com/virtuix-omni-preview-production-model-video/>

Die Positionen sind während der Übertragung nicht parallel zueinander. Und der zentrale Bereich ist eine tote Zone, die deutlich zu spüren ist, wenn sich der Benutzer in die Nähe des Zentrums bewegt. Dies wird das Eintauchen in die Erfahrung ruinieren.

Das riemenbasierte omnidirektionale Laufband [7] besteht aus zwei Sätzen vertikaler Riemen, die durch die Kombination zweier vertikaler Bewegungen ein schnell reagierendes Geschwindigkeitsfeld auf der Plattformoberfläche erzeugen. Es gibt mehrere Untersuchungen, die auf diesem Prinzip basieren, wie Torus [12], Cyberwalk [27, 29], F-ODT [20, 25], In fi nadeck [22]. Dieses Schema könnte das echte Walking-in-Place-Erlebnis mit vollen Freiheitsgraden ermöglichen. Aufgrund der vertikalen Riemenstruktur ist es schwierig, das Volumen weiter zu reduzieren. Derzeit ist In fi nadeck das kleinste und die Höhe beträgt ca. 40 cm. Außerdem sind die Motorsysteme der beiden Sätze vertikaler Riemen völlig unterschiedlich, was zu gewissen Schwierigkeiten für das Steuerungssystem führen wird.

Unser System HCP könnte ein schnell reagierendes Geschwindigkeitsfeld auf der Plattformoberfläche erzeugen, das auf dem Prinzip der Synthese und Zerlegung der Geschwindigkeit basiert, das dem Prinzip des Mecanum-Rads ähnelt [11]. HCP verfügt über zwei identische Motorsysteme und könnte dem echten Gehen an Ort und Stelle ein volles Maß an Freiheit bieten. Am wichtigsten ist, dass unsere Systemstruktur nur ein kleines Volumen erfordert, das sich in der Höhe widerspiegeln kann, in der unser System nur 16 cm Höhe, die 40% des In fi nadecks beträgt.

3 HEX-CORE-PROTOTYPE O. MNIDIRECTIONAL T. LESEN-

MÜHLE

Wie in Abbildung 1 dargestellt, besteht das HCP-System aus vier Funktionsmodulen. Das Positionierungssystem berechnet den außermittigen Abstand der Benutzer. Basierend auf dem außermittigen Abstandssignal steuert das Steuersystem das Motorsystem, um ein Geschwindigkeitsfeld zu erzeugen, mit dem Benutzer zurück in die Mitte geschickt werden. Benutzer können auf natürliche Weise kontinuierlich auf der Plattform gehen. Das Steuersystem könnte die entsprechende Bewegungsentfernung basierend auf der außermittigen Entfernung und der aktuellen Geschwindigkeit aufzeichnen. Die Bewegungsentfernung ist die Ausgabeinformation des HCP-Systems, mit der die Bewegung in der virtuellen Umgebung gesteuert werden kann.

Wir wenden eine traditionelle Regelstrategie an, dh PID-Regler (Proportional Integral Derivative) im Regelsystem. Das Motorsystem enthält zwei identische Servomotoren. Der Hauptbeitrag des HCP-Systems sind das omnidirektionale Geschwindigkeitsfeldschema und das Positionierungssystem. In diesem Abschnitt werden diese beiden Teile vom mechanischen Mechanismus bis zur Berechnungsmethode detailliert dargestellt.

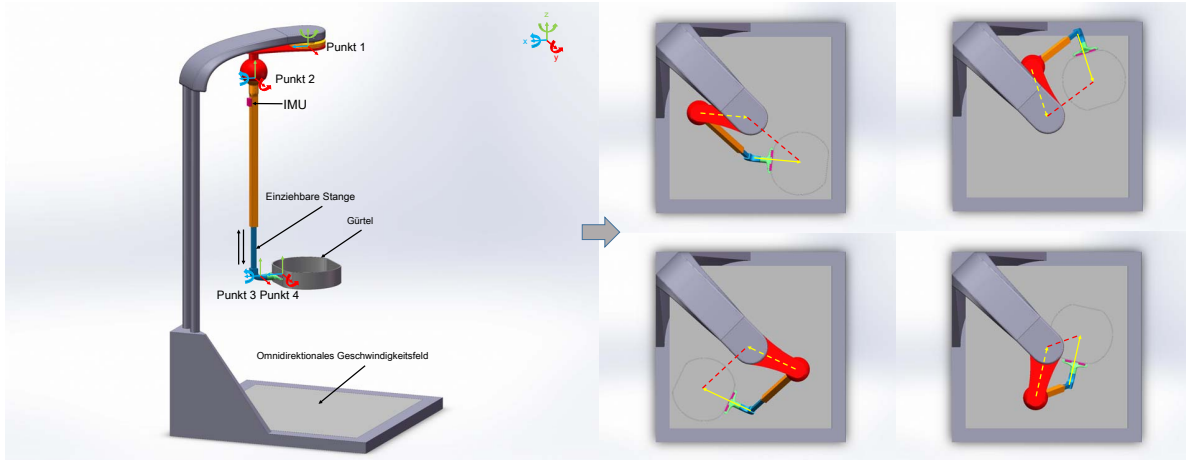


Abbildung 3: Das Positionierungssystem auf Basis der Trägheitsmesseinheit (IMU). Wie im linken Teilbild gezeigt, steht der Benutzer auf dem omnidirektionalen Geschwindigkeitsfeld und ist am Riemen gebunden. Es gibt vier Drehpunkte. Jeder Drehpunkt hat bestimmte Drehachsen. Punkt1 kann sich entlang der z-Achse drehen. Punkt2 kann sich entlang der x-Achse und der y-Achse drehen. Punkt3 dreht sich entlang der x-Achse. Punkt4 dreht sich entlang der y-Achse. Die Länge der einziehbaren Stange kann sich ändern. Die vier Drehpunkte und die einziehbare Stange bieten dem Benutzer gemeinsam sechs Freiheitsgrade (6 DoF). Wie der rechte Teil zeigt, verläuft die Linie von der Körpermitte des Benutzers zum Punkt 1, dh der roten Strichlinie, unabhängig davon, wo der Benutzer steht und in welche Richtung er zeigt, immer parallel zur einziehbaren Stange. Deshalb,

3.1 Omnidirektionales Geschwindigkeitsfeldschema

Abbildung 2 zeigt den mechanischen Aufbau des omnidirektionalen Geschwindigkeitsfeldschemas im HCP-System. Die Kernkomponenten sind die beiden spiegelsymmetrischen Ketten, die in der linken Abbildung von Abbildung 2 dargestellt sind. Jede Kette enthält ein Stützzahnrad, ein Antriebszahnrad und einen Rollensatz, der um 45° geneigt ist. Diese beiden Arten von Ketten könnten von zwei identischen Servomotoren angetrieben werden, wie in der mittleren Abbildung gezeigt. Nachdem die beiden Arten von Ketten abwechselnd angeordnet wurden, wird die Systemoberflächenstruktur rechts im Bild angezeigt.

Wenn das System läuft, liefern Motor1 und Motor2 die Leistung des omnidirektionalen Geschwindigkeitsfeldes. Kette1 und Kette2 könnten von Motor1 bzw. Motor2 über das Antriebsrad angetrieben werden. Wie in Abbildung 2 gezeigt, treibt Motor1 die Kette1 an der

Geschwindigkeit von v_{c1} , dh die blaue durchgezogene Linie, und Motor2 treibt die Kette2 an mit der Geschwindigkeit von v_{c2} , dh die rote durchgezogene Linie. Aufgrund der Drehung der Walzen ist die Geschwindigkeit entlang der Drehrichtung der Walze versetzt.

und die Geschwindigkeit entlang der Achsrichtung der Walze bleibt erhalten, dh die blaue und rote Strichlinie. Basierend auf dieser Struktur werden die ursprünglich zwei parallelen Geschwindigkeiten in zwei vertikale Geschwindigkeiten zerlegt, die durch berechnet werden könnten

$$\begin{aligned} |v_1| &= \sqrt{2} \frac{|v_{c1}|}{2} \cdot \frac{\theta_{v1} - \theta_{v2} - \pi}{4} \\ |v_2| &= 2 \frac{|v_{c2}|}{2} \cdot \frac{\theta_{v2} - \theta_{v1} + \pi}{4} \\ \theta_{v1} &= 0 \text{ oder } \pm \pi, \theta_{v2} = \pm \pi \end{aligned} \quad (1)$$

Nachdem Sie die beiden Arten von Ketten abwechselnd angeordnet haben, v_1 und v_2 sind abwechselnd auf der Oberfläche verteilt, wie im rechten Teil von Abbildung 2 zeigt an. Die Geschwindigkeit des omnidirektionalen Geschwindigkeitsfeldes, dh die Synthese v , könnte berechnet werden von

$$\begin{aligned} |v| &= \sqrt{|v_1|^2 + |v_2|^2} \\ \theta_v &= \arctan2(|v_1| \sin \theta_{v1}, |v_2| \sin \theta_{v2}) \end{aligned} \quad (2)$$

Hier $\theta_v \in (-\pi, \pi]$, was bedeutet, die Geschwindigkeit v ist omnidirektional.

Wenn wir eine Synthesegeschwindigkeit haben wollen v , das hat die Amplitude $|v|$ und Richtung θ_v auf dem omnidirektionalen Geschwindigkeitsfeld, wobei Gleichung 1 durch Gleichung 2 ersetzt wird, die Servomotorgeschwindigkeiten v_{c1}, v_{c2} könnte berechnet werden von

$$\begin{cases} |v_{c1}| = |v| \cos \theta_v \cdot \frac{\theta_{v1} - \theta_{v2} - \pi}{4} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{v1} - \sin \theta_{v2}} \\ |v_{c2}| = |v| \cos \theta_v \cdot \frac{\theta_{v2} - \theta_{v1} + \pi}{4} \cdot \frac{1}{\sin \theta_{v2} - \sin \theta_{v1}} \end{cases} \quad (3)$$

Basierend auf Gleichung 3 können wir die Servomotoren steuern, um ein schnell reagierendes omnidirektionales Geschwindigkeitsfeld zu konstruieren.

3.2 Positionierungsschema

Das Schema im obigen Unterabschnitt bietet ein omnidirektionales Geschwindigkeitsfeld, mit dem Benutzer zurück in die Mitte geschickt werden können. Der endgültige Steuereffekt hängt jedoch auch von der Rückmeldung der aktuellen Positionsinformationen des Benutzers ab. Ein verzögerungsarmes, präzises Positionierungssystem ist von großer Bedeutung. Nach unserem besten Wissen Bluetooth, ZigBee, WLAN, UWB (Ultra Wide Band), RFID, usw. Drahtlose Positionierungsstrategien könnten den Standort höchstens bis zu 5 cm genau liefern, und es werden mindestens 3 Basisstationen benötigt. Diese Art von Strategie ist kostspielig und kann die Genauigkeitsanforderungen nicht erfüllen. Die kamerabasierte Strategie hat normalerweise eine hohe Zeitverzögerung, da sie viel Zeit benötigt, um die Bilder aufzunehmen und zu verarbeiten. Außerdem ist es nicht stabil genug und anfällig für Beleuchtung. Im HCP-System haben wir die geringe Verzögerung, Genauigkeit und Sicherheit umfassend berücksichtigt.

Abbildung 3 zeigt das Positionierungssystem in HCP. Der Benutzer steht auf dem omnidirektionalen Geschwindigkeitsfeld und ist am Riemen gebunden. Die vier Drehpunkte und die gemeinsam einziehbare Stange bieten dem Benutzer sechs Freiheitsgrade (6 DoF). Punkt1 gibt den Kurswinkel für den Benutzer an. Punkt2, Punkt3 und Punkt4 stellen gemeinsam die Bewegung der x- und y-Achse bereit. Die einziehbare Stange sorgt für die Bewegung der Z-Achse. Punkt3 und Punkt4 geben den Nickwinkel bzw. den Rollwinkel an. Basierend auf der Struktur zeigt der rechte Teil von Abbildung 3 die Linie von der Mitte des

Tabelle 1: Vergleich mit verschiedenen omnidirektionalen Laufbändern.

Gerät	Motor	Aktiver Bereich	Höhe	Gewicht	Maximale Geschwindigkeit	Maximale Beschleunigung
CyberWalk	X-Achse 40 kW	6,5 * 6,5 m	1,45 m	12000 kg	2 m / s	0,75 m / s ²
	Y-Achse 37,7 kW					
F-ODT	X-Achse 8,8 kW	2,5 * 2,5 m	0,64 m	576 kg	2,5 m / s	3 m / s ²
	Y-Achse 3,6 kW					
In fi nadeck	X-Achse --	1,2 * 1,5 m	0,4 m	225 kg	> 2 m / s	--
	Y-Achse --					
HCP	X-Achse 0,5 kW	1 * 1,2 m	0,16 m	150 kg	1,6 m / s	1,3 m / s ²
	Y-Achse 0,5 kW					

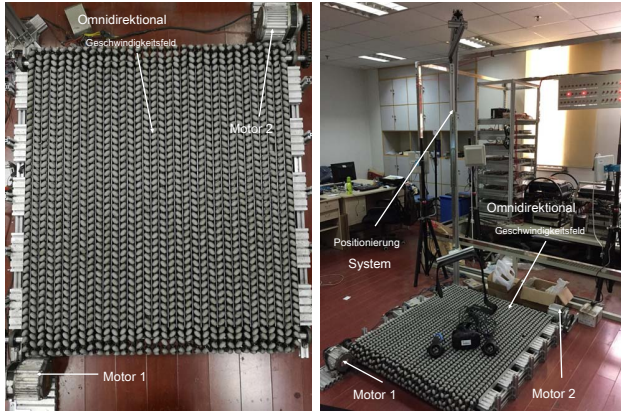


Abbildung 4: Die Aufnahmen des HCP-Systems. Das omnidirektionale Geschwindigkeitsfeld besteht aus 34 Ketten, die von den beiden identischen angetriebenen werden 0,5 kW Servomotor. Die Größe ist ungefähr $1,2 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 0,16 \text{ m}$, und wiegt ungefähr 150 kg. Der rechte Teil zeigt die Gesamtansicht des HCP-Systems.

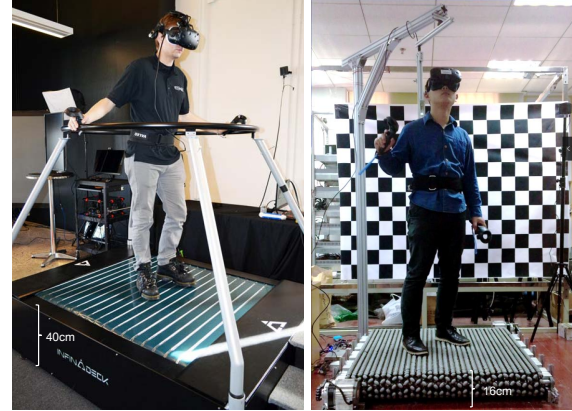


Abbildung 5: Der Vergleich von HCP mit In fi nadeck. Es ist intuitiv, dass HCP viel dünner und kleiner ist. HCP hat nur 16 cm Höhe, die 40% des In fi nadecks beträgt. Das heißt, das entsprechende Volumen reduziert sich um mindestens 60%.

Der Körper des Benutzers zu Punkt 1, dh der roten Strichlinie, verläuft immer parallel zur einziehbaren Stange. Wir könnten die Position des Benutzers berechnen, indem wir die räumliche Lage der einziehbaren Stange unter Verwendung der IMU messen.

Wenn der Benutzer in der Mitte des Geschwindigkeitsfelds steht, notieren Sie die Länge der einziehbaren Stange um L . Nehmen Sie den Punkt 1 als Co-Ordinatenursprung. Das U -- Die aktuellen Positionskoordinaten von ser könnten sein bezeichnet durch $p_o = (0,0, L)$. Wir nehmen an, dass die Größe des Benutzers dies tut ändert sich nicht, wenn man sich bewegt, dh die Koordinate von (z-Achse) ändert sich nicht.

Basierend auf der IMU, wenn der Benutzer zu geht $p_t = x_p, y_p, z_p$. Die räumliche Lage der einziehbaren Stange könnte durch die bezeichnet werden Quaternion $q_t = (w_q, x_q, y_q, z_q)$. Der Einheitsvektor in dieser räumlichen Umgebung tude wird mit bezeichnet $n = (x_n, y_n, z_n)$, was von der berechnet werden könnte Quaternion Operation, die

$$((0, x_q, y_q, z_q) = q^{-1} \cdot t(0,0,0, -1) \cdot q_t. \quad (4)$$

Tabelle 2: Die Detailparameter des HCP-Systems.

Motormodell		Positionierungssystem	
Nennleistung	0,5 kW	Richtigkeit	3mm
Nenngeschwindigkeit	3000 U / min	Zeitverzögerung	2ms
Übersetzungsverhältnis	6: 1	Aktualisierungsrate	500 Hz
Geräteparameter			
Totale Kraft	1 kW	Maximale Geschwindigkeit	1,6 m / s
Gesamtfläche	1,2 m * 1,5 m	Aktiver Bereich	1 m * 1,2 m
Höhe	0,16 m	Gewicht	150 kg

Schon seit n und p sind kollinear und in die gleiche Richtung, die p könnte berechnet werden von

$$p_t = \frac{L}{z_p} n_t. \quad (5)$$

x_p, y_p sind die Position des (Benutzers im Geschwindigkeitsfeld). Wann Dieser Wert ist außermittig, dh $x_p, y_p \neq (0,0)$, das Steuerungssystem steuert die Servomotoren, um den Benutzer zurück in die Mitte zu schicken.

4 C. OMPARISON

Basierend auf dem Prinzip in Abschnitt 3 bauen wir das HCP-System wie in Abbildung 4 gezeigt auf. Das omnidirektionale Geschwindigkeitsfeld wird von zwei identischen 0,5 kW Servomotoren und besteht aus 34 Ketten. Detaillierte Parameter sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Da das riemenbasierte omnidirektionale Laufband einen vollständigen Freiheitsgrad bieten kann, führen wir einen Vergleich mit mehreren riemenbasierten omnidirektionalen Laufbändern durch. Das Vergleichsergebnis ist in Tabelle 1 gezeigt. Die anderen drei riemenbasierten ODT haben das gleiche Problem, dass der Motor in der X-Achse und der Y-Achse unterschiedlich ist. Unterschiedliche Motoren haben immer unterschiedliche elektrische Eigenschaften wie Nenndrehzahl, Drehmoment usw. All dies führt zu Schwierigkeiten für das Steuerungssystem. Im Gegensatz dazu wendet das HCP-System die spiegelsymmetrische Struktur an, weshalb die beiden identischen Motoren in unserem System angewendet werden könnten. Ein weiterer Vorteil der Kettenstruktur ist die einfache Reduzierung der Höhe. Abbildung 5 zeigt diesen Vorteil unseres Systems. Im Vergleich zum kommerziellen Produkt In fi nadeck hat unser Prototyp nur eine Höhe von 40%. Das Volumen hat sich bereits um ca. 60% reduziert. Bei mehr Optimierung ist es einfach, die Höhe unter 10 zu reduzieren cm.

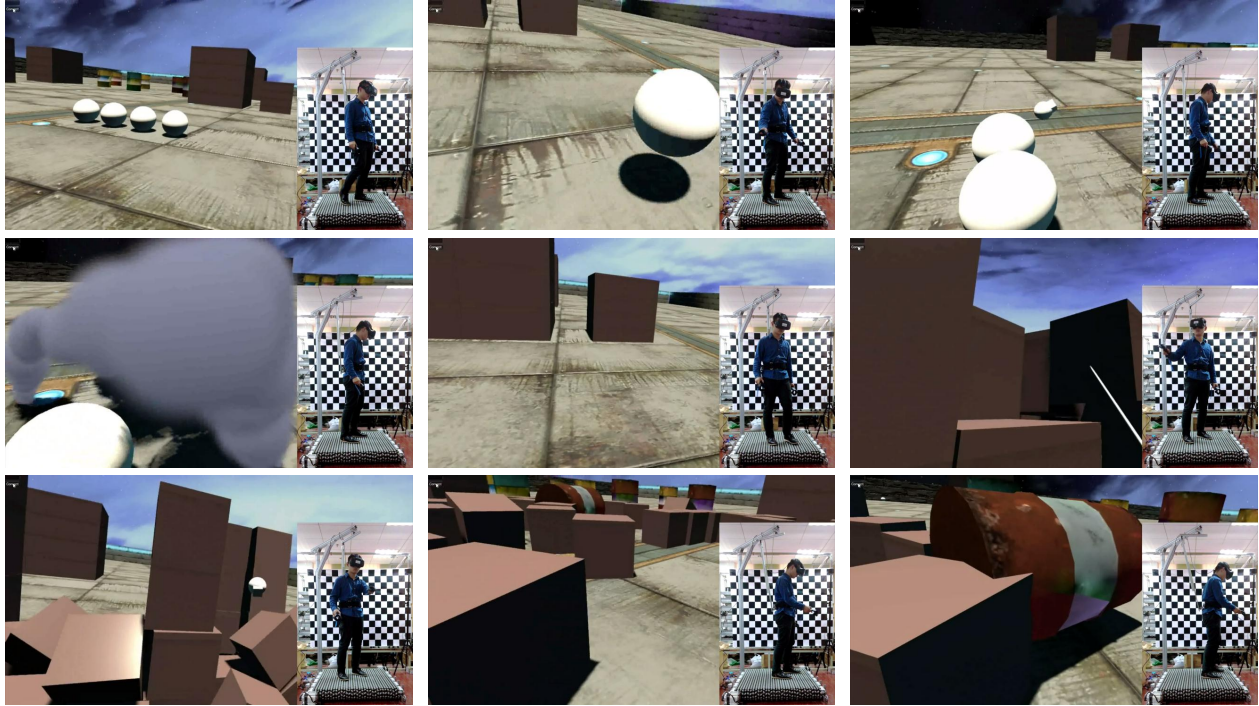


Abbildung 6: Die Screenshots des Demo-Videos. Der Benutzer steht auf dem HCP-System und ist am Gürtel festgebunden. In der virtuellen Umgebung erkundet der Benutzer einen großen Bereich. Screenshots sind in der Reihenfolge von links nach rechts und von oben nach unten angeordnet. Zunächst geht der Benutzer auf die vier weißen Kugeln zu. Nach dem Schießen verwendet der Benutzer einen Stock, um diese Kugeln umzuschalten. Dann warf der Benutzer eine Granate auf die Kugel. Der Ball wurde gesprengt. Dann dreht sich der Benutzer um und geht zu einem Stapel roter Würfel. Verwenden Sie den Stock und die Granate, um die Würfel zu zerstören. Schließlich geht der Benutzer auf ein neues Öffass zu und erkundet die virtuelle Welt weiter.

5 A. ANWENDUNG

Wir entwickeln eine virtuelle Umgebung weiter, um die Wirksamkeit unseres HCP-Systems zu demonstrieren. Die virtuelle Umgebung wurde auf Basis von UNITY3D entwickelt und verwendet das HTC-VIVE als HMD. Der Screenshot des Demo-Videos ist in Abbildung 6 dargestellt.

Der Benutzer in der Demo steht innerhalb von 2 m^2 und kann auf natürliche Weise omnidirektional gehen. Es zeigt, dass unser System das Fortbewegungsproblem effektiv lösen kann. Das komplette Demo-Video ist dem Zusatzmaterial beigelegt.

6 C. SCHLUSSFOLGERUNG

In diesem Artikel wird ein neuartiges omnidirektionales Laufbandsystem namens HEX-CORE-PROTOTYPE vorgeschlagen. Der Hauptteil des HCP-Systems ist das Design des omnidirektionalen Geschwindigkeitsfelds und des Positionierungssystems. Das Anwendungsergebnis zeigt, dass HCP ein wirksames Schema zur Lösung des Fortbewegungsproblems in VR ist. Im Vergleich zu aktuellen omnidirektionalen Laufbändern, die ein echtes und volles Freiheitserlebnis beim Gehen bieten könnten, verfügt HCP über eine spiegelsymmetrische Struktur. Das zwei identische Motorsystem erleichtert der Steuerung die Steuerung des Systems. Die Kettenstruktur macht HCP viel kompakter. Bei einem festen aktiven Bereich ermöglicht eine geringere Höhe dem System ein kleineres Volumen. Dies ist sehr wichtig für Benutzer zu Hause.

Derzeit gibt es noch einige Nachteile. Die Vergleichsergebnisse zeigen, dass die maximale Geschwindigkeit von HCP viel Raum für Verbesserungen bietet. Die Höhe kann weiter reduziert werden und das Steuerungssystem kann einige fortgeschrittenere Steuerungsstrategien einführen, um ein noch intensiveres Erlebnis zu erzielen.

EIN BESTÄTIGUNGEN

Diese Arbeit wird von der National Natural Science Foundation of China (Grant Nr. 61773118 und Grant Nr. 61973083) und vom National Key R & D Program of China (Grant Nr. 2018YFB1500803) unterstützt.

R. EFERENZEN

- [1] M. Al Zayer, P. MacNeilage und E. Folmer. Virtuelle Fortbewegung: a Umfrage. *IEEE-Transaktionen zu Visualisierung und Computergrafik*, 2018.
- [2] YY Ang, PS Sulaiman, RWO Rahmat und NM Norowi. Schalten Sie den Controller aus und aktivieren Sie das „Gehen“ in einer Virtual-Reality-Umgebung (vr): Eine Überprüfung. Im *Umgebungskommunikation und Computersysteme*, S. 367–379. Springer, 2018.
- [3] ER Bachmann, E. Hodgson, C. Hoffbauer und J. Messinger. Mehrbenutzer-umgeleitetes Gehen und Zurücksetzen unter Verwendung künstlicher potenzieller Felder. *IEEE-Transaktionen zu Visualisierung und Computergrafik*, 25 (5): 2022–2031, 2019.
- [4] L. Bölling, N. Stein, F. Steinicke und M. Lappe. Schrumpfende Kreise: Anpassung an erhöhten Krümmungsgewinn beim umgeleiteten Gehen. *IEEE-Transaktionen zu Visualisierung und Computergrafik*, 25 (5): 2032–2039, 2019.
- [5] H. Brinks und M. Bruins. Neugestaltung der Omnideck-Plattform: In Bezug auf DFA und Modularität, 2016.
- [6] T. Cakmak und H. Hager. Cyberith Virtualizer: ein Fortbewegungsgerät für die virtuelle Realität. Im *ACM SIGGRAPH 2014 Emerging Technologies*, p. 6. ACM, 2014.
- [7] RP Darken, WR Cockayne und D. Carmein. Das omnidirektionale Laufband: ein Fortbewegungsgerät für virtuelle Welten. Im *Vorträge des 10. jährlichen ACM-Symposiums zu Software und Technologie für Benutzeroberflächen*, S. 213–221, 1997.

- [8] A. De Luca, R. Mattone, PR Giordano, H. Ulbrich, M. Schwaiger, M. Van den Bergh, E. Koller-Meier und L. Van Gool. Bewegungssteuerung der Cybercarpet-Plattform. *IEEE-Transaktionen zur Steuerungssystemtechnologie*, 21 (2): 410–427, 2012.
- [9] S. Hanson, RA Paris, HA Adams und B. Bodenheimer. Verbesserung der Walk-in-Place-Methoden durch Individualisierung und tiefe Netzwerke. Im *2019 IEEE-Konferenz über virtuelle Realität und 3D-Benutzeroberflächen (VR)*, S. 367–376. IEEE, 2019.
- [10] J.-Y. Huang. Eine omnidirektionale Virtual-Reality-Schnittstelle auf Basis eines Spaziergangs und ihre Anwendung auf das Training von Laufkränen. *IEEE-Transaktionen auf Multimedia*, 5 (1): 39–51, 2003.
- [11] Sei Ilon. Räder für ein kurstables selbstfahrendes Fahrzeug, das in jede gewünschte Richtung auf dem Boden oder einer anderen Basis beweglich ist, 8. April 1975. US-Patent 3,876,255.
- [12] H. Iwata. Auf einem unendlichen Boden durch virtuelle Umgebungen gehen. Im *Verfahren IEEE Virtual Reality (Kat. Nr. 99CB36316)*, S. 286–293. IEEE, 1999.
- [13] H. Iwata, H. Yano, H. Fukushima und H. Noma. Zirkulationsboden [Bewegungsschnittstelle]. *IEEE-Computer-Grafik und -Anwendungen*, 25 (1): 64–67, 2005.
- [14] H. Iwata, H. Yano und M. Tomiyoshi. String Walker. Im *Neue Technologien von ACM SIGGRAPH 2007*, S. 20 - es. 2007.
- [15] A. Kitson, AM Hashemian, ER Stepanova, E. Kruijff und BE Riecke. Vergleich von Lean-basierten Motion-Cueing-Schnittstellen für die Fortbewegung in der virtuellen Realität. Im *IEEE-Symposium 2017 zu 3D-Benutzeroberflächen (3DUI)*, S. 73–82. IEEE, 2017.
- [16] EM Kolasinski. Simulatorkrankheit in virtuellen Umgebungen. Technischer Bericht, Army Research Inst für Verhaltens- und Sozialwissenschaften Alexandria Va, 1995.
- [17] E. Langbehn, P. Lubos und F. Steinicke. Evaluierung von Fortbewegungstechniken für Raumskala vr: Joystick, Teleportation und umgeleitetes Gehen. Im *Tagungsband der Virtual Reality International Conference - Laval Virtual*, p. 4. ACM, 2018.
- [18] JJ LaViola Jr. Eine Diskussion über Cybersickness in virtuellen Umgebungen. *ACM Sigchi Bulletin*, 32 (1): 47–56, 2000.
- [19] D.-Y. Lee, Y.-H. Cho und I.-K. Lee. Optimale Echtzeitplanung für umgeleitetes Gehen mithilfe von Deep Q-Learning. Im *2019 IEEE-Konferenz über virtuelle Realität und 3D-Benutzeroberflächen (VR)*, S. 63–71. IEEE, 2019.
- [20] H. Lee, S. Pyo, S. Park und J. Yoon. Design des omnidirektionalen Laufbandes basierend auf einem Omni-Pulley-Mechanismus. Im *2016 13. Internationale Konferenz über allgegenwärtige Roboter und Ambient Intelligence (URAI)*, S. 889–894. IEEE, 2016.
- [21] J. Lee, S. Ahn und J.-I. Hwang. Eine Walk-in-Place-Methode für die virtuelle Realität unter Verwendung von Positions- und Orientierungsverfolgung. *Sensoren*, 18 (9): 2832, 2018.
- [22] V. Metsis, KS Smith und D. Gobert. Integration der virtuellen Realität in ein omnidirektionales Laufbandssystem für die Intervention multidirektionaler Gleichgewichtsfähigkeiten. Im *2017 Internationales Symposium für tragbare Robotik und Rehabilitation (WeRob)*, S. 1–2. IEEE, 2017.
- [23] NC Nilsson, S. Sera fi n, F. Steinicke und R. Nordahl. Natürliches Gehen in der virtuellen Realität: Ein Rückblick. *Computer in der Unterhaltung (CIE)*, 16 (2): 1–22, 2018.
- [24] YS Pai und K. Kunze. Armschwingen: Verwenden von Armschwingen für eine zugängliche und umfassende Navigation in ar / vr-Räumen. Im *Vorträge der 16. Internationalen Konferenz über mobile und allgegenwärtige Multimedia*, S. 189–198. ACM, 2017.
- [25] SH Pyo, HS Lee, BM Phu, SJ Park und JW Yoon. Entwicklung eines schnell omnidirektionalen Laufbandes (f-odt) für eine immersive Fortbewegungsschnittstelle. Im *2018 IEEE Internationale Konferenz für Robotik und Automatisierung (ICRA)*, S. 760–766. IEEE, 2018.
- [26] P. Schmitz, J. Hildebrandt, AC Valdez, L. Kobbelt und M. Zie fl e. Du drehst meinen Kopf nach rechts: Schwelle des begrenzten Eintauchens für Rotationsgewinne beim umgeleiteten Gehen. *IEEE-Transaktionen zu Visualisierung und Computergrafik*, 24 (4): 1623–1632, 2018.
- [27] M. Schwaiger, T. Thümmel und H. Ulbrich. Cyberwalk: Ein fortschrittlicher Prototyp einer Belt-Array-Plattform. Im *2007 IEEE International Workshop zu haptischen, audiovisuellen Umgebungen und Spielen*, S. 50–55. IEEE, 2007.
- [28] MC Schwaiger, T. Thümmel und H. Ulbrich. Eine 2d-Motion-Plattform: Der Cybercarpet. Im *Zweite gemeinsame EuroHaptics-Konferenz und Sympo- sium on Haptic Interfaces für virtuelle Umgebungen und Teleoperator-Systeme (WHC'07)*, S. 415–420. IEEE, 2007.
- [29] JL Souman, PR Giordano, M. Schwaiger, I. Frissen, T. Thümmel, H. Ulbrich, AD Luca, SH Bülthoff und MO Ernst. Cyberwalk: Ermöglichen eines uneingeschränkten omnidirektionalen Gehens durch virtuelle Umgebungen. *ACM-Transaktionen zur angewandten Wahrnehmung (TAP)*, 8 (4): 25, 2011.
- [30] S. Tregillus und E. Folmer. Vr-Schritt: Vor-Ort-Gehen mit Trägheitserfassung für die Freisprechnavigation in mobilen VR-Umgebungen. Im *Verfahren der CHI-Konferenz 2016 zu Human Factors in Computersystemen*, S. 1250–1255. ACM, 2016.
- [31] M. Usoh, K. Arthur, MC Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater und FP Brooks Jr. Im *Vorträge der 26. Jahreskonferenz über Computergrafik und interaktive Techniken*, S. 359–364. ACM Press / Addison-Wesley Publishing Co., 1999.
- [32] D. Waller, E. Bachmann, E. Hodgson und AC Beall. Der Bienenstock: Eine riesige immersive virtuelle Umgebung für die Erforschung der räumlichen Wahrnehmung. *Methoden der Verhaltensforschung*, 39 (4): 835–843, 2007.
- [33] C. Wang, OA Dogaru, PL Strandholt, NC Nilsson, R. Nordahl und S. Sera fi n. Schritt zur Seite: eine erste Untersuchung der gestischen Eingabe für die seitliche Bewegung während der Fortbewegung vor Ort. Im *Vorträge des 24. ACM-Symposiums zu Virtual Reality-Software und -Technologie*, S. 1–5, 2018.
- [34] PT Wilson, W. Kalescky, A. MacLaughlin und B. Williams. Vr Fortbewegung: Gehen - Gehen an Ort und Stelle - Armschwingen. Im *Vorträge der 15. ACM SIGGRAPH-Konferenz zum Virtual-Reality-Kontinuum und seinen Anwendungen in Industrie-Band 1*, S. 243–249. ACM, 2016.