

VR 用歩行インターフェースの提案と評価

濱池祐哉¹ 植村匠¹ 尾島修一¹

概要: 現在, VR 空間内の移動にはコントローラー操作を用いることが一般的であるが, VR 空間への没入感を阻害する原因になるなどの問題点が存在する. そのため, 現実における移動方法に近い Natural User Interface (NUI) タイプの VR 用歩行動作入力手法が求められている. 本研究では, 一般ユーザーが手軽に利用できる低コストな入力手法として, 没入型 HMD に搭載された 3 軸加速度センサーの情報のみを用いて, ユーザーの足踏み動作を認識し, VR 空間内での歩行動作へと反映させる手法を提案した. 実装には Unity を用い, NUI としての有効性をアンケートにて評価した.

Proposal and Evaluation of Walking Interface for VR

YUYA HAMAIKE^{†1} TAKUMI UEMURA^{†1}
SHUICHI OJIMA^{†1}

Abstract: Currently, controller is used to move in the VR space. But it has problems such as disrupting the sense of immersion in the VR space. Therefore, there is a need for a natural user interface (NUI) type input method. As a low-cost input method, we proposed a method that recognizes the user's foot stepping motion and reflects it to the walking motion in the VR space using only the information from the 3-axis accelerometer mounted on the HMD. Unity was used for implementation, and we evaluated the effectiveness as a NUI of this method by questionnaire.

1. はじめに

近年のコロナ禍を受け, 「ステイホーム」をより快適にする手段として VR (Virtual Reality) に注目が集まっている. 更に, Facebook Technologies 社の Oculus Quest 2[1]のような安価なスタンドアロン型の HMD (Head Mount Display) の登場により一般家庭においてもリーズナブルな価格で VR 機器を導入することが可能となってきた. このような背景から, 普段から VR を利用する人が増加している.

現在, VR コンテンツの操作方法として, コントローラー操作を用いるのが一般的である. しかしながら, これらの操作方法はゲームに不慣れたユーザーにとっては難易度が高い. 特に, 実際には移動していないにも関わらず, コントローラー操作によって VR 空間内を移動することは, VR 空間への没入感を阻害するなどの問題に繋がるため, 現実における移動方法に近い, Natural User Interface (NUI) タイプの移動動作入力手法が求められている.

現在主流の NUI タイプの移動動作入力手法は, ルームランナーのような接触型の機器を用いる手法と, カメラ等を用いた非接触型の機器を用いる手法の 2 種類が挙げられる.

まず接触型の機器としては, Virtuix 社の Omni One などがある. 足場のプレートや専用の靴にセンサーが内蔵されており, センサーから取得された情報を元にユーザーの動作の認識を行う. 本体につながっているベストをユーザーの体に装着することにより, ユーザーの安全を確保するとともに, ユーザーのジャンプやしゃがむといった動作の認識が可能である[2].

次にカメラ等の非接触型の機器としては, カメラで撮ったユーザーの情報を元にユーザーの動作認識を行う Microsoft 社の Kinect がある. Kinect は RGB-D センサーであり, ユーザーの姿勢を骨格モデルとして認識し, 体の揺れや四肢の動作を認識することができる. 接触型の機器を用いる手法と同じく, ユーザーの歩行やジャンプ等の動作を認識することができる[3].

このように接触型・非接触型の NUI が存在しているが, 接触型の機器は大型で持ち運びが困難であり, 非接触型の機器は機器とユーザーの間に遮蔽物がないことが前提である. そのため, 一般ユーザーが手軽に使用することが容易ではないと考えられる.

本研究では, 必要な占有スペースの大きさ, 持ち運びやすさ, 設置の容易さなど様々な面で, 従来手法より優れた NUI タイプの VR 用移動動作入力手法の開発を目標とする.

¹ 崇城大学
Sojo University

2. 提案手法

VR 空間上の移動を直感的に行うことができる入力手法として、足踏みによって VR 空間上の歩行を制御する手法を提案する。動作に足踏みを用いる理由としては、本研究での目的として省スペースでの実現を目指すため、歩行動作に出来る限り近い足踏み動作とした。足踏み動作の強弱によって走行/歩行を制御した。

機器の数を最小限とするため、HMD から得られる情報のみを用いてユーザーの足踏み動作の認識を行い、認識結果を VR 空間上の歩行動作に反映させる。近年の一般的な HMD には、頭部の動きを検知するために加速度センサー、ジャイロセンサー、地磁気センサーなどが搭載されている。本手法では、その中の加速度センサーから得られるデータを用いてユーザーの足踏み動作を静止、歩行（軽く足踏み）、走行（激しく足踏み）の 3 クラスで認識できる識別器を開発し、その識別器の認識結果によって VR 空間上の歩行動作を制御する。上述した一連の処理の流れを図 1 に示す。また、ユーザーが行う足踏み動作と VR 空間上の歩行動作の対応を表 1 に示す。使用する機器が HMD だけであるため、従来手法と比べて小規模で実現可能な NUI タイプの入力手法を実現できる。

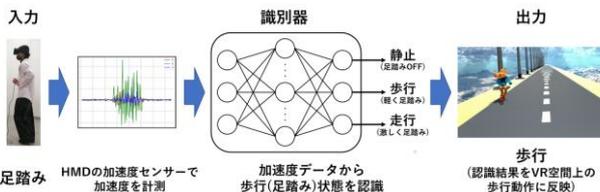


図 1 提案手法の処理フロー

表 1 ユーザーが行う足踏み動作と VR 空間上の歩行動作の対応

現実空間上の足踏み動作	VR 空間上の歩行動作
静止	静止
軽く足踏み	歩行
激しく足踏み	走行

3. 実験

3.1 概要

提案手法の NUI としての有効性・問題点を明らかにするために、提案手法を実装した VR システムを被験者に体験してもらい、アンケート調査に回答してもらう実験を行う。アンケート調査結果を分析することで提案手法の NUI としての有効性・問題点を明らかにする。

3.2 実験環境

本実験の実験環境を表 2 に示す。また、本実験で HMD として使用する Oculus Rift CV1 と 3 軸加速度センサーの x, y, z 軸の方向を図 2 に示す。

表 2 実験環境

PC	OS	Windows 10 Pro
	グラフィックボード	NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB
	CPU	Intel (R) Core (TM) i5-7500T CPU @ 2.70GHz 2.71GHz
	メモリ	16 GB
使用する HMD		Oculus Rift CV1

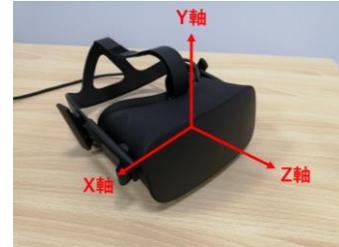


図 2 Oculus Rift CV1 と 3 軸加速度センサーの X, Y, Z 軸の方向

3.3 本実験で用いた VR システムについて

(1) 開発環境

本実験で用いた VR システムは Unity を用いて実装した。また、識別器は Python を用いて実装・保存したものを本システム内に組み込んでいる。開発環境を表 3 に示す。

表 3 VR システムの開発環境

PC	OS	Windows 10 Pro
	グラフィックボード	NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB
	CPU	Intel (R) Core (TM) i5-7500T CPU @ 2.70GHz 2.71GHz
	メモリ	16 GB
HMD		Oculus Rift CV1
開発エンジン		Unity 2021.2.3f1
Python 言語開発環境		Anaconda 4.10.3 Python 3.9.7
機械学習ライブラリ		tensorflow 2.5.0

(2) 使用する識別器

識別器のネットワークとして、米原らが行った「静止、歩行、走行時の 3 軸加速度データを HMD から取得する実験」によって得られた加速度のデータセットを学習させた VGG16 を用いる。HMD の加速度センサーによって計測された直近 10 フレーム分の 3 軸 (x, y, z) の加速度データを入力とし、ユーザーの現在の歩行 (足踏み) 状態を静止、歩行 (軽く足踏み)、走行 (激しく足踏み) の 3 クラスで出力する。認識精度は 95% 程度である。識別器の概要を図 3 に示す。また、識別器のネットワークの設定を表 4 に示す[4]。

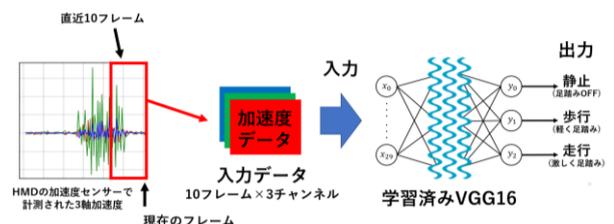


図 3 使用した識別器の概要

表 4 識別器のネットワークの設定

ネットワーク構造	VGG16
入力データ	10 フレーム×3 チャンネル
学習方法	教師あり学習
更新方法	ミニバッチ学習
ミニバッチサイズ	64
学習回数	1000 epoch
最適化手法	adam
学習データ	HMD から得られた 静止, 歩行, 走行時の 3 軸加速度データ

(3) 物理パラメータの設定

VR 空間上の物理パラメータの設定を表 5 に示す。

表 5 VR 空間内の操作キャラクターの物理パラメータ

体重	60.0 kg
静止時の速度	0.0 m/s
歩行時の速度	1.0 m/s
走行時の速度	5.0 m/s
歩行状態遷移時の加速度の大きさ	10.0 m/s ²

(4) VR システムのユーザーが行う動作

VR システムのユーザーは VR 空間上に表示される指示に従い、足踏みによる操作によって VR 空間上で静止、歩行、走行を行うほか、周囲を見渡す動作を行う。足踏み動作以外の動作をユーザーが行った際のシステムへの影響を明らかにするために、周囲を見渡す動作を指示に追加した。動作指示とユーザーの動作のイメージを図 4 に示す。

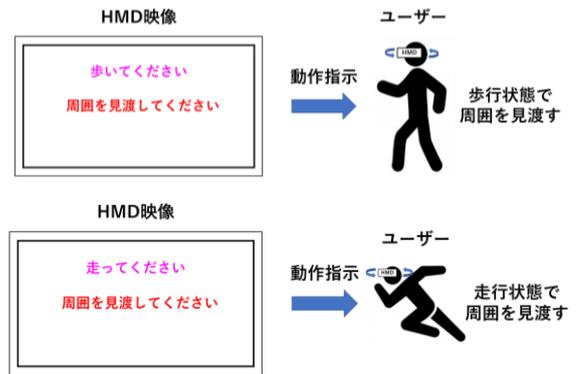
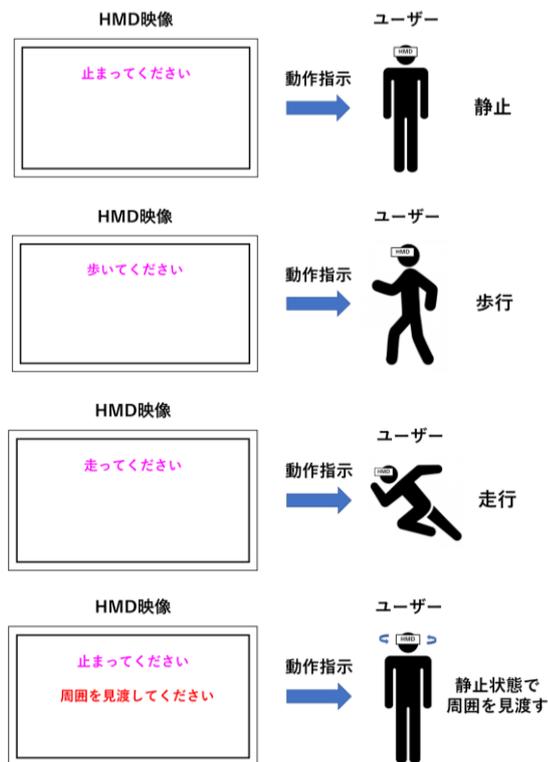


図 4 動作指示とユーザーの動作のイメージ

3.4 評価方法

本研究における NUI の定義を「人間にとって自然な動作で直感的に操作可能な UI」とする。提案手法がこの定義をどの程度満たしており、すなわち NUI としてどの程度有効であるかについて、「評価対象である UI を初めて経験した者の内、その UI の操作方法を容易に理解し、覚えることができ、かつ、違和感なく操作できた者の割合」によって評価を行う。

例えば、「ファイルを移動する」という動作の制御方法として、「コマンドによる操作」よりも「マウスによる操作」の方が多くの人にとって容易に理解し、覚えやすく、違和感なく操作することができるのは、「ファイルを移動する」という動作の制御手段として人間が日常生活において自然に行っている「手を使って該当ファイルを取り出し、見やすい位置に配置する」という動作により近い動きだからだと推察される。つまり、人間の日常生活における自然な動作に近い操作方法を実現する、すなわち直感的な操作を可能とさせるには、「初見でも操作を容易に理解し、覚えることができる」かつ「違和感なく操作が可能である」という点を満たす必要があると考える。

以上のことからアンケートに「足踏みによって VR 空間上の歩行を制御するコンテンツの利用経験の有無」「操作方法を理解し、覚えることの難易度」「足踏みが VR 空間上で歩行/走行となることへの違和感の有無」の項目を用意し、それらの論理積をとることで NUI の有効性について検証する。また、その他の質問により、提案手法の NUI として有効性をより向上させるための改善点を明らかにする。

3.5 実験結果

被験者は男子大学生 17 名である。実験中の被験者の様子とその際の HMD 映像を図 5 に示す。また、アンケートの回答結果を図 6 に示す。また、足踏みによる歩行制御が初見だった被験者のアンケートの項目 (12) と (17) の相関関係を図 7 に示す。



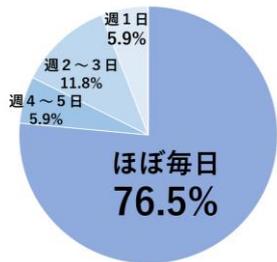
(a) 被験者の様子



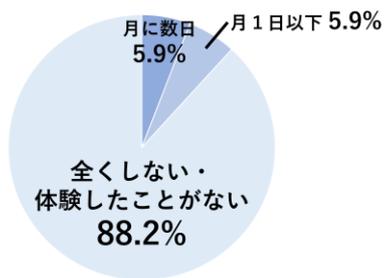
(b) HMD の映像

図 5 実験の様子

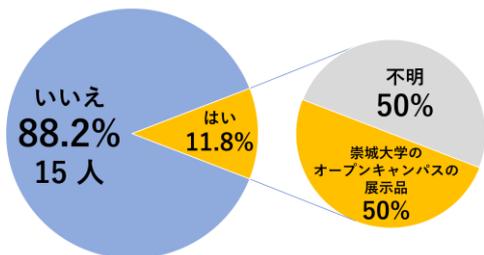
(7) あなたはどのくらいの頻度で、家庭用ゲーム機やパソコン・スマートフォンなどでゲームを行っていますか？



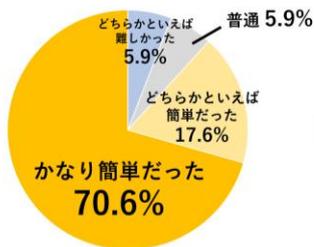
(10) あなたはどのくらいの頻度で VR (仮想現実) を体験していますか？



(11) あなたは今までに、「足踏みによってVR空間内の歩行制御を行うコンテンツ」を体験したことがありますか？



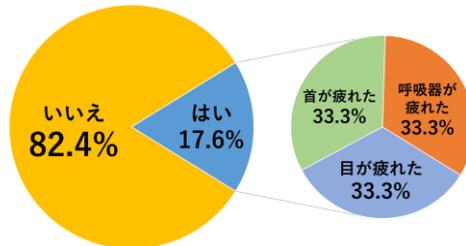
(12) このシステムの操作方法を理解し、覚えることはどの程度難しかったですか？



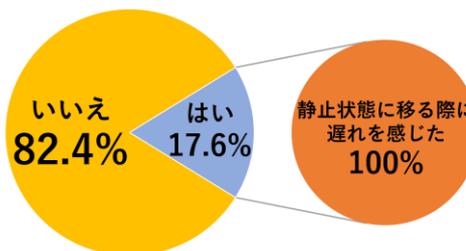
(13) 酔いましたか？



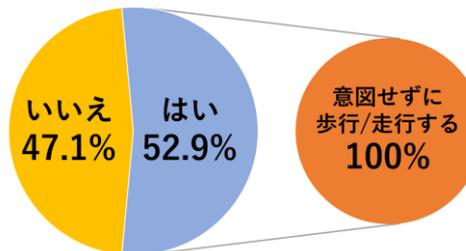
(14) 現実空間で歩行、走行する以上に疲れましたか？



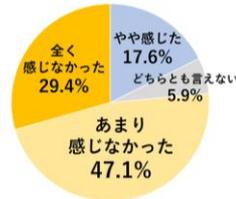
(15) 足踏みによる操作がVR空間上に反映されるまでに遅れを感じましたか？



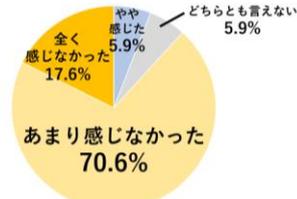
(16) 足踏みによる操作がVR空間上で間違っ反映されることがありましたか？



(17) 足踏みがVR空間上で歩行/走行とされることへの違和感がありましたか？



(18) VR空間上での移動速度に違和感がありましたか？



(19) その他、このシステムについて
 改善して欲しい点があれば教えてください。

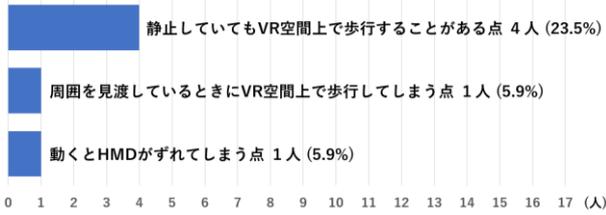


図6 アンケート結果 (一部抜粋)

(12) このシステムの操作方法を理解し、覚えることはどの程度難しかったですか？

	かなり簡単だった	どちらかと言えば簡単だった	普通	どちらかと言えば難しかった	かなり難しかった
全く感じなかった	4人	0人	0人	0人	0人
あまり感じなかった	5人	1人	0人	1人	0人
どちらとも言えない	0人	0人	1人	0人	0人
やや感じた	2人	1人	0人	0人	0人
かなり感じた	0人	0人	0人	0人	0人

(17) 足踏みがVR空間上で歩行/走行とされることへの違和感がありましたか？

図7 足踏みによる歩行制御が初見だった被験者のアンケートの項目(12)と項目(17)の相関関係

3.6 考察

(1) NUIとしての有効性について

足踏みによるVR空間上の歩行制御を初めて経験した被験者中、「操作方法を理解し、覚えることはかなり、もしくはどちらかといえば簡単だった」と回答し、かつ、「足踏みがVR空間上で歩行/走行とされることへの違和感は全く、あまりなかった」と回答した被験者の割合は約67%だった(図7)。提案手法は少なくとも男子大学生に対してはNUIとして概ね有効だと考えられる。今後、様々な人を対象に同様の調査を行うことで、どのような人に対しても提案手法がNUIとして有効であるかを評価する必要がある。

(2) 改善点について

VR空間上における移動速度について、約88%の被験者が「全く、あるいはあまり違和感なし」と回答し(図6(18))、被験者全員が「酔わなかった」と回答した(図6(13))。また、約82%の被験者が「現実空間で歩行/走行する以上の疲れを感じなかった」と回答した(図6(14))。これらより、視覚(VR空間)による移動感覚と身体による移動感覚の間にほとんど相違が生じなかったと考えられる。よって、現行の識別の仕組み(静止、歩行、走行の3クラスに分類すること、歩行/走行時の移動速度が一定であることなど)を見直す必要性はあまりないと考えられる。

足踏みによる操作の遅延の有無について、約82%の被

験者が「遅延はなかった」と回答し、約18%の被験者が「静止状態に移る際に遅れを感じた」と回答した(図6(15))。この結果、静止状態に移る際に若干の遅延があることが明らかとなった。静止状態に移る際、歩行/走行時の速度が慣性として加わる影響で、他の状態遷移時と比べて状態遷移に時間が掛かることが原因だと考えられる。静止状態への状態遷移時のみ、他の状態遷移時と比較して大きな加速度を加えることで慣性の影響を軽減することが対策として考えられる。

誤作動の有無について、約53%の被験者が「意図せずに歩行/走行する誤作動があった」と回答している(図6(16))。また、システムの改善して欲しい点として、「静止していてもVR空間上で歩行してしまうことがある点」、「周囲を見渡しているときにVR空間上で歩行してしまう点」が挙がっている(図6(19))。これらより、「意図せずに歩行/走行する(特に、静止しているときにVR空間上で歩行してしまうことがある)」「静止中に周囲を見渡した際に歩行してしまう」という誤作動が発生していることが明らかとなった。「静止中に周囲を見渡した際に歩行してしまう」という誤作動の一因として、識別器の学習データとして「正面を向いて」足踏み動作を行う際にHMDによって計測された加速度データが用いられているため、周囲を見渡すなどユーザーが足踏み以外の動作を行っている状況下では識別器の認識精度が低下することが考えられる。よって、識別器の学習に用いる加速度のデータセットを見直すことで識別器の汎用性を向上させ、足踏み以外の動作を行っている状況下でも高い認識精度を維持できるようにする必要がある。「意図せずに歩行/走行する(特に、静止しているときにVR空間上で歩行してしまうことがある)」「という誤作動の原因については精査が必要である。

4. おわりに

本研究では、必要な占有スペースの大きさ、持ち運びやすさ、設置の容易さなど様々な面で、従来手法より優れたNUIタイプのVR用移動動作入力手法の開発を目標とし、VR空間内における歩行動作をユーザーの足踏み動作によって制御でき、かつ、HMDのみで構築可能な手法の提案、評価を行った。

結果として、提案手法が少なくとも男子大学生に対してはNUIとして概ね有効であることが明らかになったほか、誤動作や遅延などの改善点が明らかとなった。

今後は、提案手法がどのような人に対してもNUIとして有効であるか明らかにするとともに、識別器の汎用性・認識精度を高めていくことが必要である。

参考文献

- [1] “Oculus Quest 2 は、シリーズ最先端かつ最新のオールインワン型 VR ヘッドセットです。息をのむようなゲームやほかにはない自由な没入体験を提供する広大なライブラリをチェックしましょう。Oculus Link で PC 接続も可能です。”, <https://www.oculus.com/quest-2/>, (参照 2022-1-26).
- [2] “Introducing Omni One | Omni by Virtuix”, <https://www.virtuix.com/introducing-omni-one/>, (参照 2022-1-30).
- [3] 谷尻 豊寿. 身体の動きがコントローラ C++で Kinect プログラミング KINECT センサー 画像処理プログラミング. 株式会社 カットシステム, 2011, p. 2-5.
- [4] 米原あぐり, 植村匠, 尾島修一. 足踏み動作によるキャラクターの歩行制御の一検討. 火の国情報シンポジウム 2021 論文集, A7-4. 2021.