

3次元視線移動システムを用いたVR内での 空中テレポーテーションの実装と評価

佐藤卓¹ 田野俊一¹ 橋山智訓¹ 市野順子² 岩田満³

概要: 近年, VR内での移動方法は多様化している. 従来の移動インタフェースを大きく4種類に分類した(①2次元直進移動, ②2次元テレポーテーション, ③3次元直進移動, ④3次元テレポーテーション). 地面での移動を2次元, 空中での移動を3次元とした. また, 歩行動作のような連続的な移動を直進, 離散的な移動をテレポーテーションとした. ④は実装・実験を行っている研究が見られないため, 本研究では④のフレームワークを定義し, それを基に設計された3次元視線移動システムを実装する. これは, 視点カーソルで目的地を決め, 右クリックを押すと瞬間的に移動する. また, テレポーテーションでは, 移動後にユーザの顔がどの方向かを設定する必要がある. そのため, 移動後の初期方向を3タイプ提案した. 実験では, 3次元視線移動システム3タイプと空間を飛行移動する従来システムを比較した. 各移動方法で空中を自由に移動し, 10個のコインを獲得させた. タスクの完了時間, 正確さ, VR酔いを評価し, 分析結果から3次元視線移動システムの実用性を考察した.

キーワード: 視線, VR, 移動, インタフェース, HMD, 3次元

Implementation and evaluation of aerial teleportation in VR using a 3D gaze locomotion system

SUGURU SATO^{†1} SHUNICHTANO^{†1} TOMONORI HASHIYAMA^{†1}
JUNKO ICHINO^{†2} MITSURU IWATA^{†3}

Abstract: The latest technologies and interactions in the field of virtual reality (VR) have brought advances in VR movement methods. The VR movement methods that have been studied so far are two-dimensional movement methods that move in the ground, such as real movement and walk in place. In this research, we propose a 3D method of moving in the air, which is different from these methods. In addition, we deal with teleportation movement, which is different from general straight-line movement. For interaction, we use an HMD equipped with an eye tracking device. The user determines the destination by controlling the gaze. In our experiments, we implemented a game environment to compare the movement in the air. From the results, we evaluate the usability quantitatively and qualitatively.

Keywords: Gaze, VR, Locomotion, Interface, HMD, 3D

1. 背景と目的

近年, バーチャルリアリティ (VR) 空間での移動インタフェースは多様化し, ユーザの好みに合わせて移動を選択することが可能になっている. 本研究では, これらのインタフェースを4つに分類している.

- 2次元直進移動
- 2次元テレポーテーション
- 3次元直進移動
- 3次元テレポーテーション

2次元直進移動では, ジョイスティックや歩行アクションによりVR上を連続的に移動する. これらは, 現実の静止した状態との矛盾からVR酔いを引き起こしている.

これを軽減する方法として, 2次元テレポーテーションが利用される. この移動は, 現在地から指定した点へと離散的に移動し, VR酔いを軽減することが知られている.

2次元移動に対して, 3次元移動では空中を飛行するインタフェースと定義している. 3次元直進移動はジョイスティックや, 体で方向を制御するアクションにより, 空中を連続的に飛行する. これにもVR酔いがあるが, それを軽減する3次元テレポーテーションは現段階で研究が行われていない.

筆者の卒業研究[1]では, 3次元点を自由にポインティングする3次元視線入力システムを提案している. これを応用し, 本研究では3次元テレポーテーションを実現する3次元視線移動システムを実装・評価する.

2. 従来研究

[2]では移動インタフェースを複数紹介しており, 2013年から2017年の間で11種類の移動インタフェースに関する研究報告を伝えている(図1). これらの全ては2次元

¹ 電気通信大学大学院
The University Electro-Communications
² 東京都市大学
Tokyo City University

³ 東京都立産業技術高等専門学校
Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology

的移動に分類される。

[3]では、Flex Perch という飛行インタフェースを提案している。足裏が浮き、重心移動によって座席が傾くイスを使用し、リアルな飛行感覚を再現している。これは、3次元の直進移動を実現している。

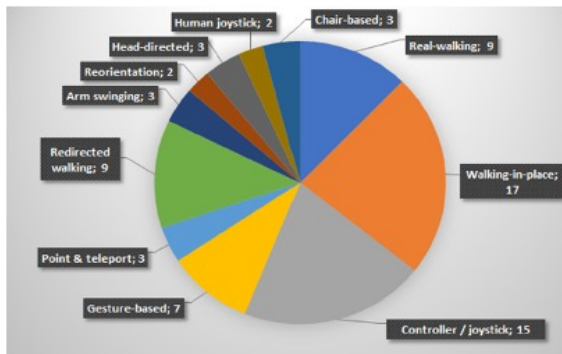


図 1 報告された移動インタフェースの種類

Figure 1 Reported locomotion Interface type

3. 提案

3.1 3次元のテレポーターション

まず、3次元のテレポーターションを「空中の注視点に瞬間的に移動するインターフェース」と定義する。

これを、図 2 のような 4 つ機能に分解した。3次元点の位置では、注視点カーソルを動かして目的地を決める。移動の決定は移動するためのトリガーとなる。移動ではユーザの位置が移動する。移動後の方向は、移動した直後の顔の方向を意味する。



図 2 3次元のテレポーターションの機能

Figure 2 Function of 3D Teleportation

3.2 3次元視線移動システム

次に上記のフレームワークを基に 3次元視線移動システムを設計する。

まず、3次元点の位置を決める。本研究では、2つのインタラクションを用いた。輻輳インタラクションでは、VR上の1点を凝視すると注視点が表示される。これには有効距離があり、有効外では注視点の奥行きを頭の傾きを利用して調整する(頭の傾き角インタラクション)。それによって、遠距離の移動を可能にする。

次に移動の決定方法を決める。有線マウスやキーボードは、ユーザの動きを制限するため、無線マウスを用いた。決定トリガーは右クリックとした。

最後に、移動後の方向を決める。これは、3つの手法を

提案する。

Only Position では移動後の方向は移動前の顔の向きと同じである。図 3 に示すように移動前の顔の方向がそのまま移動後の顔の方向として適応される。この手法のメリットは、「現実の自分」の向きと「VR上の自分」の一致感を実現することである。向きを自由に変えるようなカスタム性は無い。しかし、不快感を与えないUIである。

Gaze では、移動後の方向は移動前の視線によって決まる。この手法のメリットは、自然さである。移動前の視線の方向が移動後に適応され、視界に表示されることは連続性があり、自然と言える。また、カスタム性がある。視線は自由に動かすことができたため、移動前に方向を自由に選択できる。

Trace では、0.5秒ごとにカーソルの残像をVR空間上に表示する。移動後の方向は移動前の残像の描く線によって決まる。この手法のメリットは、カスタム性である。Gazeもカスタム性はあったものの、真横、真上を向くことは視野角の関係上できない。この手法では、あらゆる場所に軌跡をプロットできるため、真横、真上、真後と方向を自由に指定できる。

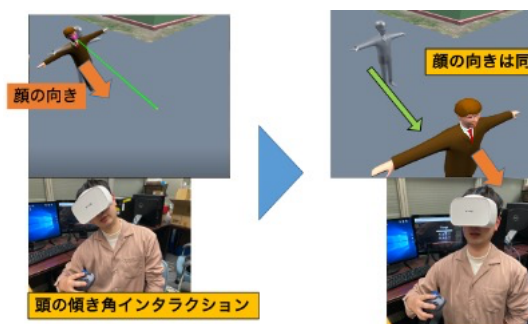


図 3 Only Position における移動後の方向

Figure 3 Head direction of “Only Position” after teleporting

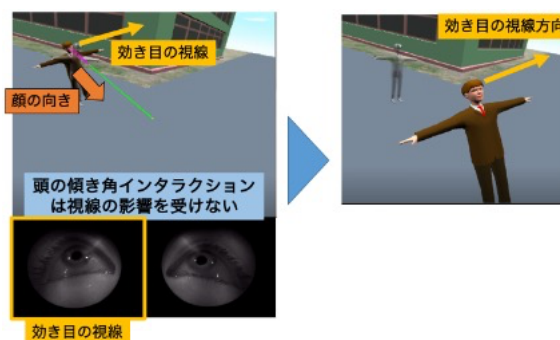


図 4 Gaze における移動後の方向

Figure 4 Head direction of “Gaze” after teleporting

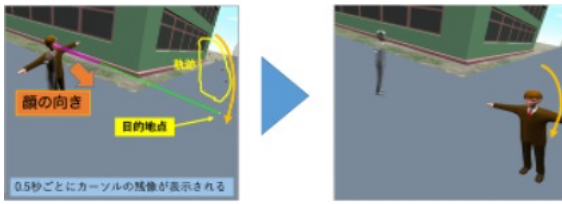


図 5 Trace における移動後の方向
 Figure 5 Head direction of “Trace” after teleporting

4. 実装

図 6 は 3 次元視線移動システムの実装環境である。3 次元視線移動システムは VR 内の街を自由に移動するためのシステムである。システムの環境を構築するため、Unity (GUI でゲームを作成できる開発用ソフト) を用いて VR アプリケーションを作成した。アプリケーション内に、Unity Asset からダウンロードした建物で街を作成し、VR 環境を作成した。そして、FOVE 公式サイトに公開されている API を用いて、3 次元視線データ (両眼の正規化されたベクトル) を取得した。同様に、オリエンテーショントラッキングによって出力される HMD の回転角度データを取得した。FOVE API を Unity にインポートすることで HMD に搭載されたセンサとのやり取りが可能となる。③次元視線移動システムは、頭の傾き角度 1 つと視線の水平・垂直角度 4 つを主な入力データとし、注視点カーソルや補助線の出力を行った。

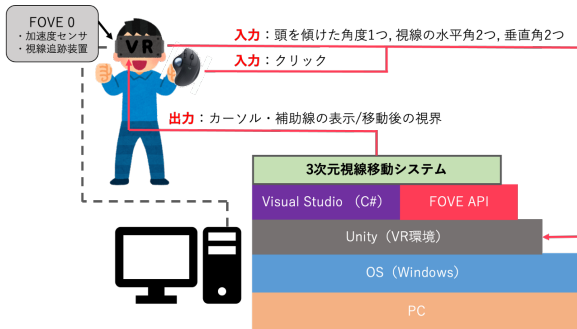


図 6 システム構成図
 Figure 6 System configuration diagram

5. 実験

5.1 実験概要

実装した 3 タイプの 3 次元視線移動システムを評価するために比較実験を行う。従来手法として飛行インタラクションを使用する。飛行インタラクションとは右クリックを押すと前方に速度は時速 60km で移動するインタフェースである。よって、全移動手法は次のようになる。

- ・従来手法 (3 次元直進移動)
 - 飛行インタラクション (Fly)
- ・提案手法 (3 次元視線移動システム)
 - 3 次元視線移動システム Only Position
 - 3 次元視線移動システム Gaze
 - 3 次元視線移動システム Trace

参加者は VR 経験者 8 人であった。

実験では、VR 環境内を自由に移動しながらコインを獲得するゲームを行わせた。3 次元空間のため、地面だけでなく空中も自由に移動できる。被験者は球体のダメージゾーン内にあるコインを 10 個獲得しなければならない。ダメージゾーンではライフポイントが 1 秒に 1 ずつ減っていく (視界は点滅する)。被験者はライフポイントが減らないように素早く移動しなければならない。また、獲得するためにコインから 3m の距離まで近づき、視界の中心の獲得用カーソルにコインを収める必要がある (図 7)。テレポーションで移動する際は、ダメージゾーン外では頭の傾き角インタラクションを使い、ダメージゾーン内では、輻輳インタラクションを使うように伝えた。

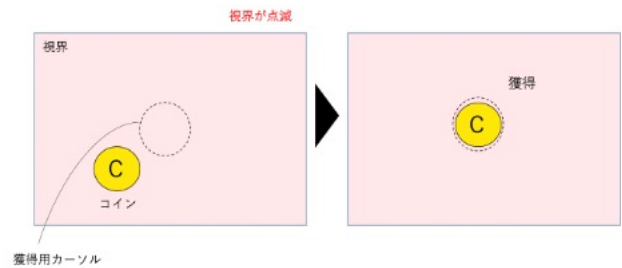


図 7 コイン獲得の流れ
 Figure 7 Flow of coin acquisition

5.2 評価方法

直感性、正確さ、VR 酔いの 3 つの指標で評価を行った。タスク完了時間・受けたダメージ量をゲーム中に計測し、タスク終了後に VR 酔いに関する SSQ アンケート[4]を実施した。

また、各指標は提案システムのどの機能に起因しているかを調査する。大きな移動、小さな移動、総合的な移動の 3 つの機能を定義した。大きな移動は、目的地から遠い時に使われる。例えば、鳥が獲物を見つけ全速力で近づく動作はこれに分類される。本実験では、コインを覆うダメージゾーン外での移動を大きな移動とする。小さな移動は、目的地から近い時に使われる。例えば、鳥が獲物の近くに到達し捕獲に集中したい時に使われる。本実験では、コインを覆うダメージゾーン内での移動を小さな移動とする。総合的な移動は、大きな移動と小さな移動を含めた全体的な移動を意味する。本実験では、コイン獲得ゲームの開始から終了までの移動を指す。満足度評価は 5 段階として、

次のような項目とした。

(a) 大きな移動

- 満足した速さだった
- 移動したい場所に行けた
- VR 酔いは感じなかった

(b) 小さな移動

- 満足した速さだった
- 移動したい場所に行けた
- VR 酔いは感じなかった

(c) 総合的な移動

- 満足した速さだった
- 移動したい場所に行けた
- VR 酔いは感じなかった

6. 結果

図 7 からわかるようにタスク完了時間の比較において提案手法 (Only Position と Gaze) が従来研究に比べて有意に短いことがわかった。また、大きな/総合的な移動の満足度評価において、提案手法は評価が高かった。

図 8 からわかるように受けたダメージ量の比較において提案手法が従来手法に比べて有意に大きいことがわかった。小さな移動の満足度評価においても、提案手法は正確さでは従来手法よりも評価は低かった。

図 9 からわかるように SSQ 合計スコアに置いて提案手法 (Only Position) が従来研究に比べて有意に低いことがわかった。また、総合的な満足度評価でも提案手法は VR 酔いの軽減に関する満足度は有意に高かった。

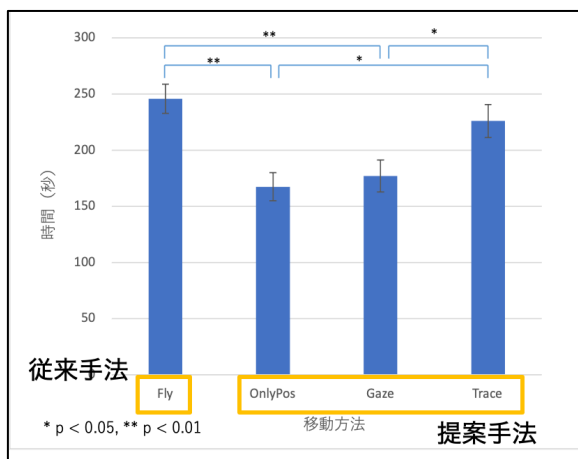


図 8 タスク完了時間の比較

Figure 8 Comparison of task completion time

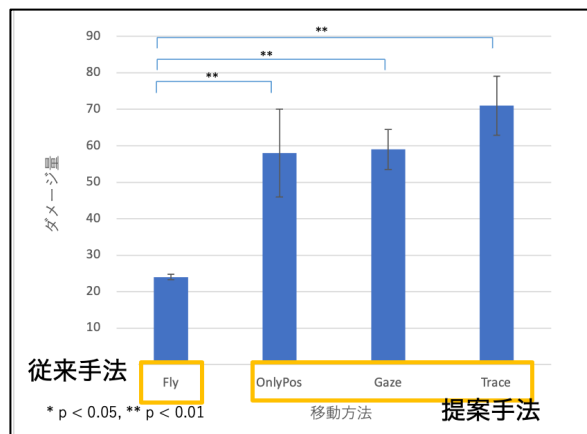


図 8 受けたダメージ量の比較

Figure 9 Comparison of the damage amount

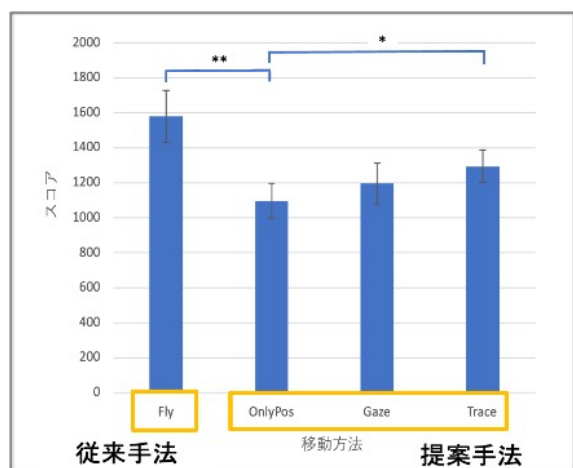


図 9 SSQ 合計スコアの比較

Figure 9 Comparison of SSQ total score

7. まとめ

本研究では、空中で瞬間的な移動を行う 3 次元のテレポーターションが未開拓であることを明らかにした。これを実装するために視線と頭の傾きを用いた 3 次元視線移動システムを実装した。本システムでは 3 次元注視点を決めるために輻輳/頭の傾き角インタラクションを提案し、奥行き調整を実現した。また、移動後の方向を決めるため、Only Position, Gaze, Trace という 3 つの新機能を提案した。最終的に移動後の方向が異なる 3 つの新システムを実装した。

コイン獲得ゲームを通して、提案システムと従来型の飛行移動を比較した。コインはステージ上に 10 個あり、全て回収させた。結果的に、直感性と VR 酔いにおいて、3 次元視線移動システムは従来手法より有利な結果を示した。

今後、本システムの改善と 3 次元のテレポーターションを実現する新しいシステムを開発することで、さらなる移動インターフェースの発展に貢献する。

参考文献

- [1] 佐藤 卓 : “HMD を用いた直感的な 3 次元視線入力システムの設計と実用性の評価”, ヒューマン・インタフェース・シンポジウム, 9 月 2019 年
- [2] Costas Boletsis : “The New Era of Virtual Reality Locomotion: A Systematic Literature Review of Techniques and a Proposed Typology”, *Multimodal Technologies and Interaction — Open Access Journal*, Vol. 1, Issue 4, 28 September 2017
- [3] Yaying Zhang, Bernhard E. Riecke, Thecla Schiphorst, Carman Neustaedter, “Perch to Fly: Embodied Virtual Reality Flying Locomotion with a Flexible
- [4] Perching Stance”, *DIS, Proceedings of the 2019 on Designing Interactive Systems Conference*, pp. 253-264, June 2019
- [5] Kennedy, S.R., Lane, E.N., Berbaum, S.K. and Lilienthal, “Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness”, *The International Journal of Aviation Psychology*, Vol. 3, No. 3, pp. 203-220, 1993