



仮想空間内における視線と頭部運動協働による ユーザー回転手法

User rotation method based on eye and head movement cooperation
in virtual space.

寺田淳之介¹⁾, 岡嶋克典²⁾

Junnosuke TERADA, Katsunori OKAJIMA

- 1) 横浜国立大学大学院環境情報学府 (〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7,
terada-junnosuke-kp@ynu.jp)
- 2) 横浜国立大学大学院環境情報研究院 (〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7,okajima@ynu.ac.jp)

概要: 視線と頭部運動を協働させることで、VR 空間においてユーザーが自由かつ直感的に連続的に回転できる手法を提案する。VR 空間においてユーザーの目の前に存在するオブジェクトに対して、ユーザーが視線を送り続けながら頭部運動を行うことで、ユーザーは連続的に仮想的に回転を行うことができる。視線と頭部を協働させることで誤作動を防ぐ他、ハンズフリーで自由に操作可能であり、手での操作を減らすことができるよう設計した。実験の結果から使用感や実用性が高く、VR 酔いを抑制できることも示された。

キーワード: 移動, 回転, VR 酔い, アイトラッキング

1. はじめに

仮想現実 (VR) の利点として、現実とは異なる動き・操作を入力として用いることで、現実では不可能な体験や広大な仮想空間を活用できる点があげられる。デスクトップゲームのようにスティックやボタンを用いることも可能であるが、身体情報や動作を入力として、より効率的で快適なインタラクションに関する研究が行われている。

VR でのインタラクションにおいて視線や頭部運動[1,2]を用いた手法が提案されている。視線は手よりも高速な制御が可能であるが正確性に問題がある。また頭部運動は視線ほど高速で制御できないが、より正確な制御が可能である。各々の特性を生かし、視線と頭部運動を協働させたインタラクションが提案されている[3]。視線で操作対象を視認し、頭部運動で入力を行う。手を使わずとも素早く制御でき、誤作動が少ないインタラクションが可能である。

本研究では、この手法を仮想空間でのユーザーの回転に用いる。VR でのインタラクションとして移動や回転は多く研究されている。実空間におけるユーザーの位置と姿勢をそのまま仮想空間でのアバター (カメラ) に反映する“real walking”は最も自然である[3]。一方、実空間でのユーザーの座標を反映せず、ユーザーが進行方向を指定し (仮想回転し)、コントローラーや姿勢などを用いて連続的に移動する“steering-based locomotion”も研究されている[4]。“steering-based locomotion”の利点として物理的なスベ

ースが小さくて良く、様々な環境で利用可能な柔軟性や、ユーザーにとって身体的な負担が少ないことが上げられる。

一方、“steering-based locomotion”は現実とはかけ離れたインタラクションのため、さまざまな問題が生じる。本研究では、使用感と認知負荷、VR 酔いの3点に着目し、視線と頭部運動を協働させることで仮想空間内においてユーザーが回転する手法を考案した。本システムのようにインタラクションにおける入力を全身に分割することで、より効率的で快適な VR インタラクションの構築を目指す。本研究では提案手法の使用感と実用性について実験的に検証する。

2. 提案手法

本章では提案手法について説明し、着目した課題とそれに対する設計理由を解説する。

2.1 使用環境

手法の使用環境として、実空間でのユーザーが“固定された椅子”に着席した状態を主に想定している。よって位置と姿勢のトラッキングを行っているヘッドマウントディスプレイ (HMD) を装着しているが、ユーザーは物理的な移動や体の正面を変えるような回転は行わない。ただし HMD がトラッキングされているため首を動かせば通常通り仮想空間を見渡すことができる。



図 1. 頭を正面に向けた時の VR 環境での
ユーザーの視界

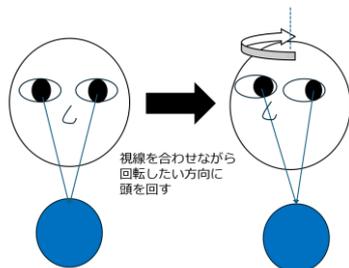


図 2. 操作方法

2.2 手法

図 1 のように仮想空間内においてユーザーの正面に青いオブジェクト (Roll Controller Object : RCO) が静止している。RCO はユーザーが仮想的な移動や回転を行わない限り、その場で静止している (単なる頭の動きには追従しない)。RCO は半径 0.3m の円盤でありユーザーから 1 m 離れた位置に位置する。(実空間でのユーザーの位置は固定されているため、ユーザーから常に 1 m 離れている)。図 2 のように、RCO を固視したまま、頭を回転させるとユーザーは仮想的な回転を行うことができる。回転方向は、頭を回した方向である。RCO は仮想的な回転には追従するため、仮想回転中は視界の端で静止しているように見え、仮想回転を止めると再び図 1 のように正面で静止する。以上のようにしてユーザーは視線と頭部運動を協働させて仮想空間で回転することができる。

2.3 着目した課題と設計理由

”steering-based locomotion”に関して着目した課題は認知負荷と使用感、VR 酔いの 2 点である。

まず認知負荷と使用感である。視線と頭部運動に回転操作を割り振ったのは、他の操作の認知負荷を下げるためである。手持ちのコントローラーに移動や回転、その他操作のすべてを行わせると、操作は複雑になり直感性が低下する。また手で行える、より精密もしくはダイナミックな操作も同時に行うことができない。これに対し回転操作を視線と頭部に割り振ったことでこれらの問題を緩和できると考えた。

また視線と頭部を用いて回転を行うことを考える場合、視線のみや頭部方向のみをトリガーとすると意図しない回転が起き、使用感の低下に繋がる。これに対し視線と頭

部運動を協働させることでミスの起きづらい設計とした。

次に VR 酔いである。VR 酔いは VR 環境における動揺病として知られており、吐き気や頭痛、疲労感など様々な症状を引き起こし、VR 体験に影響を及ぼすことが知られている。本提案手法では予備実験段階では VR 酔いを低減することが示唆された。よって実験を通して再度検証し低減理由について考察する。

3. 実験

3.1 目的

本実験の目的は、提案手法の使用感と実用性を評価する。提案手法と、ベースラインであるコントローラーでの回転手法とで比較を行った。

3.2 仮説

実験目的から以下の仮説を検証する。

1. 他の入力と組み合わせても認知負荷が少なく操作性が高い
2. 順応が早い
3. VR 酔いが低減される

3.3 タスク

実験タスクは、見本通りに 4 つのキューブを並べるというものであった。参加者は図 3 のような 3 つのテーブルが置かれた空間に没入した。1 つ目のテーブルには四色のキューブで構成された見本が置かれている。2 つ目のテーブルには何も置かれていなく、3 つ目のテーブルには白いキューブが 4 つ置かれている。参加者は白いキューブを掴んで移動・回転し、色を変えて見本通りに並べていく。見本通りに並べ終わると 1 試行終了である。移動、回転、把持、設置、色変更など多くの操作を必要とするタスクであった。参加者は 1 試行完了までの時間を知ることができ、常に全力でタスクを完遂するように指示された。

3.4 環境

実験参加者は回転しない、固定された椅子に着席しており、体の向きを変えることができなかった。実験機材として片目当たり 1440×1600 ピクセルの解像度、リフレッシュレート 90Hz、視野角最大 110° の HMD である HTC Vive Pro Eye を着用し、両手に HTC Vive コントローラーを持った。

3.5 条件

実験参加者は横浜国立大学に所属する 20 歳から 26 歳までの健康な男性 8 名であった。

参加者内条件として前述の提案手法を用いて回転する



図 3. 実験環境 (左: 仮想空間, 右: 現実空間)

TEST”条件とコントローラーで回転する“BASE”条件が存在し、その他の操作においては条件間で共通であった。

TEST 条件は前述の提案手法を用いて仮想回転を行う。HMD のアイトラッキング機能を用いて参加者の視線を取得する。頭部運動は、ユーザーの現実の体の正面方向を0度の基準として頭の回転を角度で取得した。ユーザーがRCOを固視したまま、頭を0度付近から10度以上に回転させることで、一定速度で回転するように設計された。

“BASE”条件ではユーザーが右手のViveコントローラーのトラックパッドを触ることで左右に一定速度で回転するように設計された。

その他の操作は両条件で統一である。移動には左手のViveコントローラーのトラックパッドが使用され、仮想空間でユーザーが向いている方向に直進できた。キューブの把持には右手のコントローラーのボタンが使用された。コントローラーの位置と姿勢が仮想空間の仮想ハンドに反映され、キューブの付近に移動し手を伸ばすことでキューブに接触、把持することができた。加えてキューブを把持している間のみ右手のコントローラーの別のボタンでキューブの色変更を行うことができた。(計4色)。

3.6 評価項目

3.2の仮説に基づいて以下の評価指標を用いた。1に対しては、ユーザビリティを評価するアンケート System Usability scale (SUS) [5]を使用した。1と2に対してタスク1試行の完了時間を測定した。タスクは1条件につき10試行を行い、完了時間の推移を取得した。3に対してはシミュレーター酔いを測定するためのアンケート The Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) [6]を使用した。

3.7 手順

実験は実験条件それぞれを別日に行うため2日に分けて行われた。1日目の実験前に実験全体に関する説明を行い、回転以外の操作について練習を行った。実験ではまずその日の回転方法について説明を行い、練習とトラッキングのキャリブレーションを行った。実験は条件ごとに5回試行→3分休憩→5回試行と行われた。10試行終了後にSUSとSSQに回答してもらい、その後口頭で手法に関する評価を聞き取りした。参加者は体調が悪化した場合、適度な休憩もしくは実験の即時中止ができた。

4. 結果

4.1 SUS

SUSは10個の質問結果から100点換算のスコアが計算される。全参加者のスコア平均値はTEST条件が60.31(SD=16.55)点、BASE条件が60.93(SD=19.03)点であり、条件間に有意差は見られなかった(図4)。

TEST条件をより評価した参加者は3名(BASE条件は5名)であった。SSQではこの2グループに分けて評価を行った。

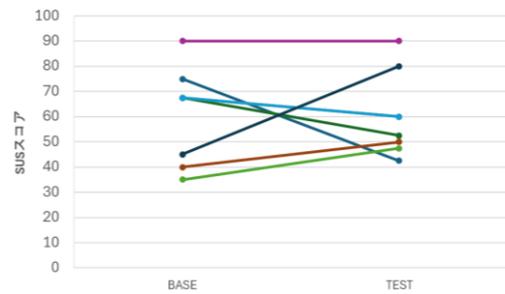


図4. 全参加者のSUSスコア

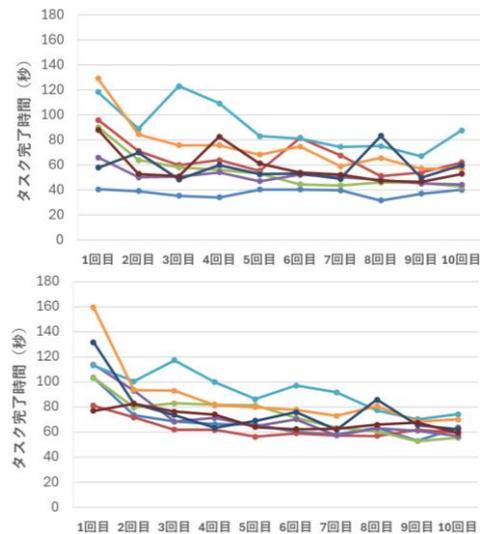


図5. 全参加者タスク完了時間推移(上:BASE 下:TEST)

4.2 タスク完了時間

全参加者の各条件でのタスク完了時間の推移を図5に示す。10回目での全参加者の平均タイムはBASE条件: 55.81秒(SD=15.32), TEST条件が62.61秒(SD=6.52)であった。

4.3 SSQ

SSQは16個の質問を用いてNausea(吐き気), Oculomotor(眼精疲労), Disorientation(失見当識), Total Severity(総合重症度)が計算される。表1は参加者の各条件でのSSQスコアである。SUSの結果からTEST, BASE条件をより評価したグループ(BASE高, TEST高)に分けて比較した。各グループの参加者内で対応ありt検定を行ったところTEST高グループのNausea, TSスコアで有意差が見られた($p<0.05$)。

5. 考察

仮説1「他の入力と組み合わせても認知負荷が少なく操作性が高い」について、手での把持や組み立てなどのタスクを課し、移動システムと組み合わせた際の認知負荷と操作性を検証し部分的に支持された。SUSスコアの平均値では条件間にはほぼ差はなかったもの、BASE条件を好んだ参加者の方が多かった。本実験では、タスクを移動以外にも複数課すことで従来の手持ちコントローラーでは難易度が上がると想定していたが、タスクの複雑性が足りず、

表 1 : SSQ スコア

平均値 (標準偏差)	Nausea		Oculomotor		Disorientation		Total severity	
	BASE	TEST	BASE	TEST	BASE	TEST	BASE	TEST
BASE高 (7.93)	5.72 (0)	9.09 (5.4)	16.67 (17.36)	2.78 (6.03)	8.35 (18.1)	5.98 (4.18)	8.97 (9.58)	
TEST高 (48.01)	92.22 (52.54)	34.98 (42.2)	60.64 (52.51)	30.32 (73.65)	83.52 (88.4)	51.04 (47.35)	64.82 (52.93)	

従来の使い慣れた手法で対応できてしまった可能性がある。一方でタスク完了時間の推移を見ると TEST 条件に比べて BASE 条件の結果がばらついている傾向が見られる。これは実験中の観察と参加者のコメントから、BASE 条件での操作ミスが影響した可能性が高い。BASE 条件ではコントローラーにおいてより多くの操作をこなす必要があったため、操作ミスをする参加者が多かった。これは本提案手法を用いる利点を支持する結果となった。

仮説 2 「順応が早い」については、従来の移動手法であるコントローラー移動と比べても劣らずすぐに順応できることをタスク完了時間で検証し、一部支持された。タスク完了時間から多くの参加者は後半の試行では結果が収束しているとわかる。10 回目の各参加者のタイムを目安にすると、BASE 条件では 5 回目までで多くの参加者が順応していたが TEST 条件では 7 回目までで順応していた。使い慣れていない提案手法も、従来の手法と比べ順応までに大きく時間がかからなかった。

仮説 3 「VR 酔いが低減される」について、コントローラー移動と比べて VR 酔いを起こしづらいことを検証し、支持された。SUS の結果で分けたグループ別でみると、BASE 条件を高く評価したグループは VR 酔いが両条件でほぼ出していない。ただし一部 TEST 条件で固視で目が疲れたとする参加者が見られた。TEST 条件を高く評価したグループでは、すべての指標で症状低減の傾向があった。人数を増やして再評価する必要があるが、酔いやすいユーザーにとっては TEST 条件はより実用性があることが示唆された。VR 酔い低減の要因については注視点の存在[7]や RCO がレストフレームとして機能した[8]ことが考えられる。今後の方向性として以上 2 点に注目して追加実験やパリエーションの研究を進めていきたい。

本実験では RCO として変化しない青いオブジェクトを用いている。これはもっともシンプルな形式であり、RCO を工夫することで様々な状況下に適用できると考えている。例えば回転時以外は半透明にする、仮想空間の地図を表示、別視点の映像を映すなどである。これにより視界が一部ふさがれるデメリットも補えると考えている。

6. おわりに

本研究では視線と頭部運動を協働させることで、仮想空

間において回転する手法を提案し、使用感と実用性を評価した。従来のコントローラー手法と比べ、利点が多く示唆され、今後の発展でより良い手法にしていけることが示唆された。

参考文献

- [1] John Paulin Hansen, Vijay Rajanna, I. Scott MacKenzie, and Per Bækgaard. 2018. A Fitts' law study of click and dwell interaction by gaze, head and mouse with a head-mounted display. In Proceedings of the Workshop on Communication by Gaze Interaction (COGAIN '18). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 7, 1–5.
- [2] Shahram Jalaliniya, Mardanbegi, Thomas Pederson, and Dan Witzner Hansen. 2014. Head and Eye Movement as Pointing Modalities for Eyewear Computers. In 2014 11th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks Workshops. IEEE, 50–53.
- [3] Martin Usoh, Kevin Arthur, Mary C. Whitton, Rui Bastos, Anthony Steed, Mel Slater, and Frederick P. Brooks. 1999. Walking > walking-in-place > flying, in virtual environments. In Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '99). ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., USA, 359–364.
- [4] E. S. Martinez, A. S. Wu and R. P. McMahan, 2022. Research Trends in Virtual Reality Locomotion Techniques, 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), Christchurch, New Zealand, 270-280,
- [5] Brooke J. 1996, SUS: A “quick and dirty” usability scale, usability evaluation in industry, 107-114,.
- [6] R. S. Kennedy et al 1993. “Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness”, The International Journal of Aviation Psychology, vol. 3, no. 3, 203-220,
- [7] N. A. Webb, M. J. Griffin: “Optokinetic stimuli: motion sickness, visual acuity, and eye movements”, Aviation, Space, and Environmental Medicine, vol. 73, no. 4, pp. 351-358, 2002.
- [8] Jerrold Douglas Prothero and Thomas A. Furness. 1998. The role of rest frames in vection, presence and motion sickness. Ph.D. Dissertation. University of Washington, USA