

[研究助成 (C)]

視線深度を用いた MR・VR における三次元視線入力 の提案

Proposal for 3D Gaze Input Using Gaze Depth in Mixed Reality and Virtual Reality

2217007



研究代表者

筑波大学 理工情報生命学院
システム情報系

特別研究員

崔

明 根

(助成金受領時：北海道大学 大学院 博士後期課程)

[研究の目的]

ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) において Head Mounted Display (HMD) を用いた, Virtual Reality (VR) と Mixed Reality (MR) を対象とした入力手法が盛んに研究されている。HMD における主な入力手法として, 視線入力は, 視線の高速性や HMD に自然に視線計測装置を搭載できることから, 最も有力な入力手法の一つである。

一方で, 視線を用いた入力手法はいくつかの課題を抱えている。顕著な課題として, ユーザのターゲットへの注視が意図的であるかを判別できずに誤入力が生じる問題 (Midas Touch 問題) や, 小さなターゲットの選択が困難であることが挙げられる。加えて VR 環境や MR 環境などの三次元環境においては, 遮蔽されたターゲットの選択が難しいという課題も存在する。これは他のオブジェクトによる遮蔽により対象物の視認可能領域が狭まる, もしくは完全に視界から消失するためである。ゆえに本研究助成では視線のみで遮蔽されたオブジェクトの選択が可能な手法の開発を目指した。

チとは, メニューアイテムにオブジェクトをそれぞれ対応させ, メニューアイテムを選択することで対応しているオブジェクトを選択する手法である。つまりこのアプローチを使用する手法はターゲットサイズや遮蔽状況に影響を受けずにターゲットを選択することができる。その上, 単純な再配置アプローチとは異なり, 仮想再配置アプローチはターゲットを見ても選択が実行されないため Midas Touch が生じない。しかし, 仮想再配置アプローチによって Midas Touch を完全に回避するためには, ターゲット領域がメニューアイテムと完全に分離されている必要がある。ゆえに本研究助成では以下の研究を行った。

1. ターゲット注視時に Midas Touch が生じない三次元視線メニュー UI のデザイン
2. 仮想再配置アプローチを活用した遮蔽されたオブジェクトの視線選択手法の提案

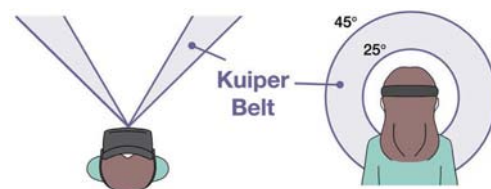


図1 Kuiper Belt の定義領域

[研究の内容, 成果]

本研究助成で提案する手法ではオブジェクト仮想再配置アプローチを活用することでターゲットの遮蔽を解消した。仮想再配置アプロ

研究 1：ターゲット注視時に Midas Touch が生じない三次元視線メニュー UI のデザイン

■背景・目的

本研究では「視線と頭部方向が成す角度」（以後、視線角度）が極端に大きな領域を活用することで Midas Touch 問題の解決を目指した。本研究においては視線角度が 25-45 度の領域を Kuiper Belt と呼ぶ。人間の目の水平方向の可動範囲は平均で約 45 度である。一方で、視線は基本的に視線角度 25 度以内に分布しており、視線シフト後の視線角度は平均で 20 度以内である。すなわち人は意図しない限り 25 度を超える視線角度に目を固定することはほとんどない。つまり、25 度以上の視線角度で行われる視線インタラクションは Midas Touch が生じにくいと考えられる。ゆえに Kuiper Belt にメニューを配置するメニュー UI はターゲット注視時に Midas Touch が生じず、また Kuiper Belt に対する視線インタラクションは他の領域に対する入力動作と明確に区別することができると言える。

■実験

Midas Touch が頻発する視覚探索時のメニューアイテム選択タスクにおいて、Kuiper Belt が Midas Touch 問題の解決に有効であるか調査した。本実験では、Kuiper Belt を用いたメニュー選択手法と他の 2 つの手法を比較した。実験の独立変数は 2 つ存在し、それぞれ以下のように設定されている。

1. 手法；2SS, HG, KB

2. 滞留時間；200 ms, 400 ms, 600 ms

2SS はベースラインとなる視線メニュー選択手法である。この手法は最も一般的に用いられている手法であり、提案手法の有用性を検討するために採用した。HG は頭部入力と視線入力を併用した手法であり、メニューは頭部方向から 12 度の位置（Kuiper Belt ではない）に固定されている。KB は HG と同じ入力手順で入力を行うが、メニューは Kuiper Belt に固定されている。HG は Kuiper Belt にメニューを配置する有用性を検討するために採用した。

滞留時間には、視線インタフェースにおいて一般的な値である 600 ms と、一般的なものよりも短い滞留時間（200 ms, 400 ms）を選択した。これらの値は視覚探索中に Midas Touch が生じるように選択した。

■実験結果

実験結果より、KB は視覚探索タスクにおいてエラー（Midas Touch）が最も少ない手法であった（図 2）。また KB は 2SS よりもエラー率、ユーザビリティ、精神的負荷の点で優れていた（図 3）。加えて、KB は HG よりも滞留時間が 200 ms のときのエラー率が有意に低く、

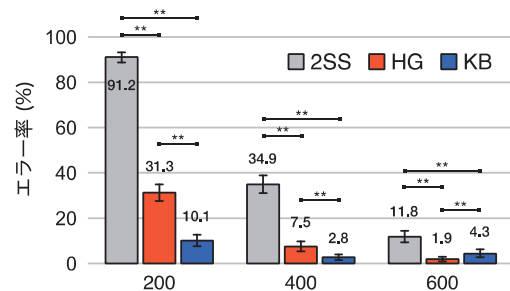


図 2 手法と滞留時間ごとのエラー率

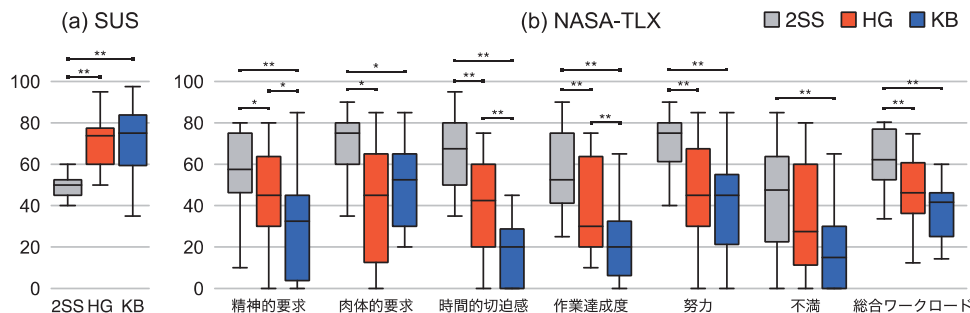


図 3 (a) SUS, (b) NASA-TLX の結果

NASA-TLX 項目のうち精神的要求、時間的切迫感、作業達成度の項目が有意に優れていた。ゆえに KB は視覚探索タスクにおいて他手法よりも快適に用いることができる手法だといえる。したがって本実験によって、VR 環境での Kuiper Belt を利用したメニューアイテム選択の有効性が明らかになり、Kuiper Belt が Midas touch を低減できることが示された。実用化に向けては更なる検討が必要であるが、本研究は Kuiper Belt 領域を用いたメニュー選択の可能性を示すことができたと言える。

この研究成果は CHI2022 とインタラクシオン 2022 に採録され、情報処理学会論文誌に採録された^[1,2,3]。

研究 2：仮想再配置アプローチを活用した遮蔽されたオブジェクトの視線選択手法の提案

■背景・目的

視線インタフェースが抱える課題の一つに「遮蔽されたオブジェクトの選択が難しい」というものがある。三次元環境では奥行きが存在するため、ターゲットの前に遮蔽物が存在する状況が頻出する。遮蔽物が存在する場合ターゲットの可視領域は減少し、ターゲット内に視線を留め続けることは困難となる。

本研究では VR 環境における遮蔽されたオブジェクトを視線のみで選択する手法として Asteroid Gazer (図 4) を提案する。Asteroid Gazer は視線のみで VR 環境の高密度、部分的に遮蔽されたオブジェクトを選択する手法である。この手法はターゲット候補を Kuiper Belt に配置されたメニューアイテムに仮想的に再配置することで遮蔽を解消する。その後、階層メ

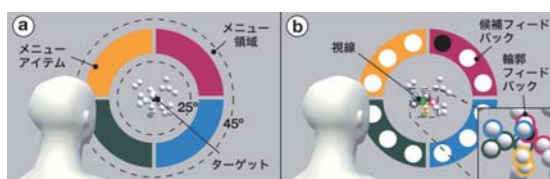


図 4 Asteroid Gazer のイメージ

ニューのアイテムを段階的に選択することでターゲットを選択する。この階層メニューの使用によって高密度な状況においても正確な選択を可能とする。

■提案手法：Asteroid Gazer

Asteroid Gazer における選択手順は以下である。

1. ターゲット候補選択：ターゲットが存在する領域を一定時間注視すると、注視点に近いオブジェクト群がターゲット候補となる。
2. メニューアイテムに対するターゲット候補の仮想再配置：ターゲット候補がメニューアイテムに対して仮想的に再配置、つまりターゲット候補とメニューアイテムがそれぞれ対応する。
3. メニューアイテム選択によるターゲット選択：メニューアイテムを一定時間注視すると、注視対象のメニューアイテムが選択される。選択されたメニューアイテムに対応している選択候補の数に応じて、以下の操作を行う。
 - (ア) メニューアイテムに対応するターゲット候補が複数存在する場合、子メニューが展開され、子メニューのメニューアイテムこれらのターゲット候補が分配される。
 - (イ) メニューアイテムに対応するターゲット候補が一つだけ存在する場合、メニューアイテムに対応しているターゲット候補が選択される。
4. 単一のターゲット候補が対応したメニューアイテムを選択するまで手順 (3) を繰り返す。

■実験

以下の 2 点の項目の調査を目的として実験を行った。(1) Asteroid Gazer は一般的な視線選択手法と比べて遮蔽されたオブジェクトをどれだけ正確に選択することが出来るか。(2) オブジェクトが密集した状況において、Asteroid Gazer の階層メニューが選択の精度向上に寄与

するか。

実験の独立変数は3つ存在し、それぞれ以下のように設定されている。

1. 手法：Dwell, AG1, AG3
2. 遮蔽率：0%, 30%, 60%
3. 密度：16, 32, 64, 128, 256 オブジェクト

Dwell はターゲットを直接注視することで選択を行う手法であり、最も一般的に用いられている手法である。Dwell は提案手法が遮蔽されたオブジェクトの選択を容易にするか確認するために、ベースライン手法として採用した。AG1 と AG3 は提案手法であり、AG1 は非階層メニュー（単一メニュー）を有した Asteroid Gazer, AG3 は三層の階層メニューを有した Asteroid Gazer である。

遮蔽率はターゲットオブジェクトの可視領域面積が遮蔽される割合であり、1つの遮蔽オブジェクトで制御される。遮蔽率が0%のときターゲットは遮蔽されず、遮蔽オブジェクトはターゲットオブジェクトに接するように見える位置に配置される。この遮蔽率の値は遮蔽時と

非遮蔽時の比較を行うために採用した。密度は画面に表示されるオブジェクトの数である。

■実験結果

実験結果よりすべての遮蔽率と密度の組み合わせにおいて、Asteroid Gazer (AG1, AG3) は Dwell よりも正確にターゲットを選択することができた (図5)。遮蔽率の値が0%の時、つまりターゲットが遮蔽されていない時、手法ごとのエラー率は Dwell が 32.6%, AG1 が 9.1%, AG3 が 7.8%であった。そのうえ遮蔽率の値が60%の時、つまり本実験において最もターゲットが遮蔽されている時、エラー率は Dwell が 70.4%, AG1 が 10.2%, AG3 が 6.9%であった。ゆえに Asteroid Gazer は一般的な視線入力手法 (Dwell) では選択が難しいような、小さいまたは遮蔽されたオブジェクトの選択を容易にすることが出来ると言える。

またユーザビリティ、精神的要求、肉体的要求、作業達成度、努力、不満において、AG1 と AG3 は Dwell よりも有意に優れていた (図6)。したがって、Asteroid Gazer は一般的な視線選択手法よりも遮蔽されたオブジェクトを正確かつ容易に選択することが可能な手法だと言える。

この研究成果は第203回 HCI 研究会に採録された^[4]。

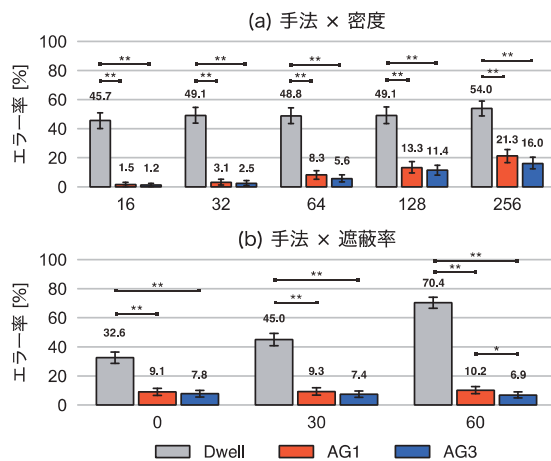


図5 (a) 密度, (b) 遮蔽率ごとのエラー率

研究助成の成果のまとめ

本研究では、三次元環境において選択が困難なオブジェクトである、遮蔽されたオブジェクトの選択を可能とする視線入力手法の開発に取り組んだ。本研究で提案した手法である Asteroid Gazer は遮蔽されたオブジェクトの容

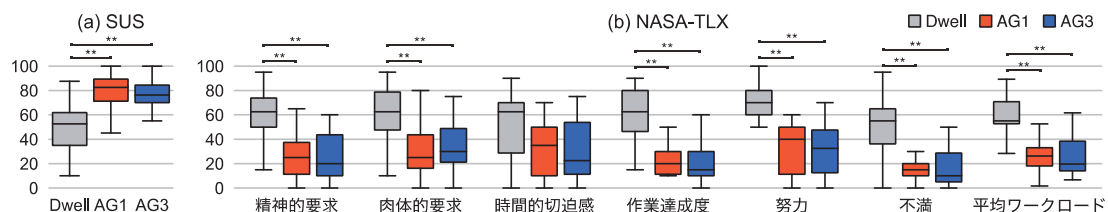


図6 (a) SUS, (b) NASA-TLX の結果

易な選択が可能であり、本研究の目的を達することができたと言える。

本研究では視線深度を用いてターゲット候補を絞る手法の検討を行う予定であったが、視線深度の推定精度の向上に失敗したため、視線深度情報と組み合わせる予定であった再配置手法の実装を先行して行った。ゆえに本研究の目標を完全に達することはできなかったと言える。一方で視線深度を用いた入力手法の検討も本研究助成内で実施しており^[5]、将来的に視線深度情報を Asteroid Gazer に組み込むような実装は可能だと考えられる。ゆえに、今後は視線深度の推定精度の向上を目指し、状況を問わずに三次元環境オブジェクトを容易に選択可能な手法の開発を行なっていく。

[成果の発表, 論文など]

- [1] 崔明根, 坂本大介, 小野哲雄. Kuiper Belt : バーチャルリアリティにおける極端な視線角度を用いた視線入力手法の検討. インタクション 2022, 情報処理学会, INT22001, pp. 1-10, 2022. 論文賞.
- [2] Myunguen Choi, Daisuke Sakamoto, and Tetsuo Ono. Kuiper Belt: Utilizing the “Out-of-natural Angle” Region in the Eye-gaze Interaction for Virtual Reality. In *Proc. CHI '22*. Article 357, pp. 1-17. 2022.
- [3] 崔明根, 坂本大介, 小野哲雄. Kuiper Belt: VR における自然ではない視線角度を用いた視線入力手法の提案. 情報処理学会論文誌, 情報処理学会, vol. 64, no. 2, pp. 400-416. 2023. 特選論文. 論文賞.
- [4] 崔明根, 坂本大介, 小野哲雄. Asteroid Gazer: VR における遮蔽されたオブジェクトの視線選択手法の提案. 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2023-HCI-203, 32, pp. 1-8, 2023.
- [5] 崔明根, 坂本大介, 小野哲雄. Depth Gaze Cursor: 特定の深度に固定された視線カーソルへの注視入力手法の検討. 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2023-HCI-203, 20, pp. 1-8, 2023.