

WinkZoom : バーチャルハンドを用いた遠方操作のための手元ズームインインタラクション手法

神作 龍輝^{2,a)} 森本 浩輔¹ 渡邊 恵太²

概要: VR におけるハンドインタラクションは、現実に近いオブジェクト操作を可能にするが、ハンドトラッキングには操作範囲の制限がある。この問題を解決するために、遠隔操作手法が必要である。遠隔操作手法には、バーチャルハンドを遠方に移動する手法が存在する。これにより、手が届かない位置にあるオブジェクトをハンドインタラクションで操作できる。しかし、移動する手の距離が伸びるとバーチャルハンドを視認出来なくなる問題がある。そこで、本研究では、ハンドインタラクションによる遠方操作時のウイंकを用いた遠方操作のための手元ズームインインタラクション手法を提案する。また、ユーザースタディを行い、本手法が遠方に移動した手の操作性を向上する可能性を確認した。

1. はじめに

VR において、ハンドインタラクションは自らの手を使ったオブジェクト操作を可能にする。この際、ユーザーの現実の身体動作とバーチャル空間に表示される仮想身体との 1 対 1 の対応が基本であるが、ユーザー自身の身体の可動域や物理空間の範囲などによりインタラクションに制限がかかる。この問題を解決するために、バーチャル空間内のレポートやリダイレクトウォーキング [1, 2] などが検討されてきた。しかし、これらの手法はユーザーがバーチャル空間内を移動することを前提としている。そのため、VRSNS などにおける複数人でのコミュニケーションの際にその場を離れてしまうことによる対話の継続性の断絶やコミュニケーション相手からの実在感の低下などといった問題が生じる。

これに対し、バーチャルハンドの位置を再マッピングをすることでインタラクションを行う遠隔操作手法は、ユーザーの移動量を最低限に抑えることが可能となる。この手法には、複数のバーチャルハンドが同期して動く手法、アバターの腕が伸長する手法がある。Ninja Hands[3], Hitchhiking Hands[4] は、バーチャル空間に複数のバーチャルハンドを配置し、それらがユーザーの手の動きと同期して動くことで、遠隔操作を可能にした。アバターの腕がユーザーの腕の長さ以上に伸長する手法は、ユーザーの動きに合わせ、手の

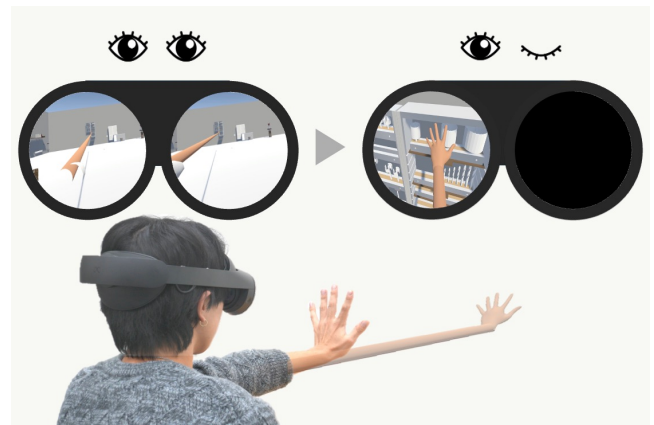


図 1 手を遠方に移動した状態で片目を閉じた時に、アバターの視点のカメラから手元を写したカメラに切り替える

位置を動的に変える手法である。「The Go-Go Interaction Technique」[5] では、手を伸ばす動きに合わせ、非線形マッピングにより、アバターの腕をユーザーの腕の長さ以上に伸ばした。Feuchtnner らはこの手法を拡張し、AR 環境内での伸長する腕を用いた現実デバイスの操作を可能にした [6]. Jeong らの研究「GazeHand」は視線に基づく伸長距離の調整法を実装し、直感的な伸長距離の調整を実現した [7]. しかし、これらの手法には操作対象が遠くなるほど操作する手の視認性が下がる問題がある。バーチャルハンドの視認性が低下すると、操作性も低下する。そのため、遠方の手とその周囲の視認性を向上するシステムが必要である。また、局所を映した手元視点と空間の広域を認識できるアバター視点の切り替えはユーザーによって任意に行われるべきである。

¹ 明治大学大学院 先端数理科学研究科
先端メディアサイエンス専攻

² 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科

a) ev220605@meiji.ac.jp

HidEye[8] は手で片目を隠す動作で VR コンテンツを切り替える手法を提案した。この手法はハンドインタラク션을片手に制限する問題がある。手を使わないインタラク션にアイジェスチャーを用いた手法がある。ParaSights[9] は片目を閉じることで片側の目に映っている視点に没入することを可能にし、各世界で両手を使ったインタラク션을可能にした。夏目らの調査から、ウイंकは継続的入力や ON/OFF の切り替えに適している [10]。そこで本研究では、アバター視点のカメラから手元カメラに切り替えるウイंकによるズームインインタラク션、Wink Zoom を提案する。遠くの手を拡大して見るために片目を閉じるインタラク션は、望遠鏡で遠くの物を拡大して見るときの行為と一致している。そのため、ユーザーにとって直感的な操作手法になると期待する。また、ウイंकは左右どちらの手元を拡大するかを選択可能にする。(図 1)

2. 提案システム

本章では、腕を伸長した状態で片目を閉じると、アバター視点のカメラから伸長した先の手元を映すカメラに切り替わる機能を搭載したバーチャルハンドの遠隔操作手法を提案する。このシステムは、遠方に移動した手の挙動を視認しやすくすることで、バーチャルハンドによる遠隔操作時の操作性向上を目的としている。

2.1 環境構築

提案システムのハードウェア基盤として Meta Quest Pro を採用し、VR 空間の構築には Unity ゲームエンジンを使用した。システムの実装において、ユーザーの動作追跡の精度向上を重視し、Oculus All-in-One SDK アセット*1を導入した。本システムは、ハンドトラッキング、アイトラッキング、フェイストラッキングの 3 つの追跡機能を統合することで、ユーザーの手の動き、視線方向、さらに顔の動きを高精度に追跡する。特に顔の動きの検知により、ウイंक入力を実現した。これらのトラッキングは肘の位置などは追跡出来ないため、FinalIK アセット*2の VRIK を組み込んだ。VRIK は頭部と手の位置情報から肘の位置を推定し、アバターの動作に反映することで、より自然な動作表現を可能にした。

2.2 システムの実装

Poupyrev らは、人は腕の長さの 2/3 以内で作業を行うという観察結果から Go-Go Interaction システムを設計した

[5]。成人男性の腕は平均 73.5cm であることから本システムではその 2/3 である 45cm に設定した。伸長距離の調整法は、GazeHand[7] に基づき実装した。GazeHand ではユーザーの視線と対象物の交点に基づき、ハンドトラッキング範囲を考慮した位置にバーチャルハンドを移動する。そして、ユーザーの手を正確にトラッキングする。中川らの研究 [11] から、伸長速度を用いた伸長実装法は身体性を得やすい。身体性は新しい身体やデバイスの操作を学習する上で重要である。また、アバターの肩とバーチャルハンドの連続性は身体性に影響する [12]。そのため、本システムでは手が移動する速度はユーザーの手の伸長速度と同じ速度にし、バーチャルハンドとアバターの連続性を保つ設計にした。

ウイंकによるカメラ切り替え機能は、片目を瞑ると、開いている目に対応する手元カメラに切り替わる。例えば、左目を瞑ると右手の手元カメラを表示する。手元カメラは、手を斜め上から撮っており、手が画面の中心に来る。この位置はパイロットスタディにより、バーチャルハンドとオブジェクトの位置関係が見えやすいように設計した。操作性向上のため、片目を閉じカメラを切り替えている間、腕を 45cm 以内に引き戻しても腕の長さを維持する設計にした。この仕様により、カメラ切り替え中の操作をスムーズに行える。

3. ユーザースタディ

本研究の目的は、ズームインインタラク션を用いた際の遠方に移動したバーチャルハンドの操作性、身体性への影響を検証することである。特に、片目を瞑ることで手元カメラを切り替える操作がユーザーの操作体験、没入感に与える影響を調査する。

3.1 実験参加者

実験参加者は 5 名 (男性 5 名、平均年齢 21.4 歳、以下参加者を p1~p5 で表記する) で、すべてコンピュータサイエンスを専攻する大学生である。参加者全員が正常な視力または矯正視力を有していた。また、VR の使用経験がある者は 1 名、未経験者は 4 名だった。

3.2 手順

参加者に対して実験の目的、手順、インタラク션の操作方法を説明した。次に、参加者はヘッドマウントディスプレイ (HMD) を装着し、アイトラッキングの調整をした。調整が完了したら、ズームインインタラク션を使用せずに本システムの遠隔操作手法に慣れるためのトレーニングを実施した。その後、参加者はズームインインタラク션を使用してアプリケーションのタスクを順に行った。タスクを全て終えたら HMD を外し、半構造化インタビューに回答した。インタビューは次に示す 5 つの質問を中心に

*1 <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/meta-xr-all-in-one-sdk-269657?locale=ja-JP&srsltid=AfmBOooKBfL7B80TDP3dE3FcNvefY9MhBK6Nh9YNKC7CIUAGj-HOGzfY>

*2 <https://assetstore.unity.com/packages/tools/animation/final-ik-14290>

表 1 質問項目

No.	質問
Q1	体験を通してアバターの動きが自分の行為によって動いているという感覚はありましたか？
Q2	まるで自分の腕であるかのように VR の腕を制御できましたか？
Q3	手元カメラに切り替わる事で操作性は変わりましたか？
Q4	片目を瞑った状態で操作することが難しいと感じましたか？
Q5	片目を瞑った際に表示された手が、自分の手でないように感じましたか？

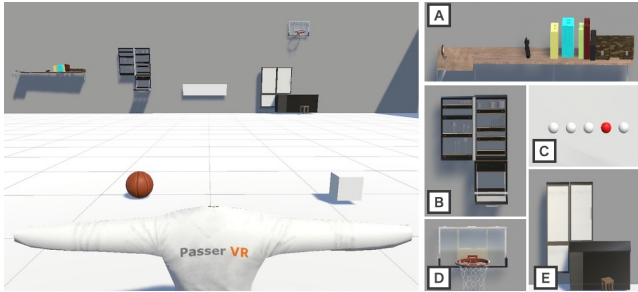


図 2 バーチャル空間に設置したタスクを行う上で必要なオブジェクトとアバター。(A: 本棚 B: 食器棚 C: 白い直方体のボックス D: バスケットゴール E: 机)

行い、必要に応じて詳しい意見を求めた。(表 1)

3.3 実験タスク

本実験では、日常生活におけるオブジェクト操作を模したタスクをバーチャル空間内で再現するアプリケーションを開発した。(図 2)パイロットスタディから、バーチャルハンドの挙動やオブジェクトとの位置関係は、15m を超える距離だと視認しづらい事が確認できた。そのため、タスク用オブジェクトの一部は 15m 地点の正面の壁に配置した。壁には左から順に、本棚、食器棚、白い直方体のボックス、バスケットゴール、机を設置した。直方体のボックスには、中心部に直径 3cm の球体を 1cm 間隔で 5 つ配置した。この 5 つの球体のうち 1 つは異なる色 (赤) であり、他の球体は白色である。ユーザーが赤い球体に触れると、ランダムに別の球体が赤くなる仕様となっている。また、タスクで使用する小型の白いキューブやバスケットボールは、ユーザーから 2m 先の床に配置した。アプリケーション内で行うタスクは以下の通りである。

1. 白いキューブを取り、食器棚の上から 2 段目に置く。
2. 本棚から青色のスーツケースを取り、机の上に置く。
3. バスケットボールを持ち、バスケットゴールにダンクする。

4. 赤い球体に触れる。これを 10 回繰り返す。

これらのタスクは、視認性が低い状況下での正確な選択やオブジェクト操作が求められるよう設計した。

4. 結果

ユーザースタディの結果、遠方のオブジェクト操作でもズーミングインタラクションにより視認性、操作性を維持できると回答を得た。しかし、移動した先の手の操作性、手元カメラの位置に関して参加者間で賛否が分かれた。

4.1 アバターの実装について

Q1, Q2 の結果からアバターの動き、伸長実装法は身体性を維持したが、伸長後の操作性で賛否が分かれた。Q1 の質問に参加者全員が VRIK によるアバターの動きは気にならなかったと答えた。Q2 で、全参加者が腕を伸長する過程で「自分の腕が伸びていると感じた」と回答した。伸長後の腕の操作体験には個人差が見られ、操作性において賛否が分かれた。伸長した腕が少しの動きに対して大きく動くことを期待していた参加者 (p1, p2, p4) は否定的な意見を述べた。伸長した腕を上下左右に動かす際、現実の腕と頭の位置関係と VR 内の腕と頭の位置関係のずれが生じる。このずれが身体性を損ねたと 3 名はコメントした。一方で、p3, p5 は肯定的な意見を述べた。特に p3 は、遠くの手と自身の手が紐で繋がれているような感覚を抱き、この操作方法が行為主体感を強めると報告した。前述した位置関係のずれが遠くの手を動かすために大きな力が必要になる感覚を生み出したため、実際に長い腕を操作している実感を得ると述べた。

4.2 スーミングインタラクションについて

Q3~Q5 よりズーミングインタラクションが遠方の手の視認性を上げ身体性を維持するが、手元カメラの位置は賛否が分かれた。Q3 でズーミングインタラクションによる手元カメラへの切り替えは、細かい位置や対象物の視認性を向上すると参加者全員が答えた。また、Q4 について片目に映し出された映像を見ながら操作する事は難しくないと全参加者が回答した。p1, p5 は片目を閉じ続ける事に難しさを感じ、左右でウイंकのしやすさにばらつきがあるとコメントした。手元カメラの位置については参加者の意見が分かれた。肯定的な意見を述べた p2, p5 は、斜め上からの視点は日常的な手と顔の位置関係に近く、直感的な操作を可能にしたとコメントした。一方で、p1, p3, p4 は否定的な意見を述べた。斜め上からでは伸長中の行き先が見えづらく、アバター視点からズームして手を見ている感覚が欲しいとコメントした。Q5 から手元カメラに表示された手について、全参加者がこれを自身の手として認識していた。自身の手と認識した理由として、伸長した先の手がユーザー

の動作と適切にリンクしていたことを挙げた。

5. 議論

5.1 伸長後の操作法が身体性に与える影響

伸長後の操作感については参加者によって個人差があった。本実験では身体性を維持するため、遠方に移動した手とアバターの連続性を保設計にした。これにより、参加者は腕が伸長していると感じ、その腕の捉え方で操作感に差が出た可能性がある。マジックハンドのように剛性があると捉えていた参加者は、手元を少し動かすだけで、バーチャルの腕が大きく動くことを期待していたため、本実装による伸長後の操作感に違和感が生じたと推察する。本実験では視認性を低い状態にするため、15m 遠方までのタスクを行った。伸長する距離が長くなると、バーチャルの腕の捉え方の違いが伸長後の操作感に個人差を生む可能性がある。今後、伸長する距離を伸ばすには適切な伸長後の操作法を検討する必要がある。

5.2 手元カメラの位置、表示法による影響

本実装では手元カメラの位置に違和感を感じる参加者の方が多い結果となった。(p1,p3,p4) 本システムでは、手とオブジェクトの位置関係を認識しやすくするため、カメラを手を斜め上から見下ろす形で配置した。この手とカメラの位置関係が手を覗き込んでいるという感覚を損ね、望遠鏡で遠方を覗いている感覚を損ねたと推察する。遠方を除く感覚と操作性を考慮した手元カメラの適切な位置を検討する必要がある。

4 名が手元カメラの映像に切り替わることで伸長している感覚を失ったとコメントした。本システムでは、片目を閉じた時、開いてる側のスクリーンに手元カメラの映像を全画面に出している。手元を映しているため、伸長しているバーチャルの腕は見えなくなる。そのため、手が伸びている感覚を失った可能性がある。伸長している感覚を VR 参加者に体験させたい場合には、映像の表示法を検討すべきである。既存研究に別視点より得られる映像を提示するバーチャルモニターを設置する手法がある。[13, 14] この表示法を用いて手元の映像を表示した場合、手元カメラの映像と伸長している腕の双方を認識できるため、伸長している感覚を維持できる可能性がある。

5.3 アイジェスチャーの影響

コメントからは、片目に映る映像を用いた操作自体は困難でない可能性が示唆された。一方、片目閉じ続ける難しさについては個人差があることが確認された。特に、片目閉じを長時間維持することが難しい場合、ユーザーの負担が増す恐れがある。そのため、他のアイジェスチャーによる入力法との比較検討が必要である。

5.4 本システムの貢献

本研究ではアイジェスチャーによる視点切り替えを導入し、片目を閉じるだけで俯瞰視点と手元視点を容易に切り替える手法を提案した。これは、広範囲の VR 空間におけるオブジェクト操作において、腕を伸縮させる手法で遠方にリマップしたインタラクション空間の視認性を向上させる可能性を示した。一方で、遠隔操作手法には、アバターの位置を移動するテレポート手法も存在する。この手法は、腕を伸ばすインタラクションよりもオブジェクトに対して瞬間的なアクセスが可能かつ、1 対 1 の操作比率であるから、操作性などが本手法よりも優れている可能性がある。しかし、移動後の空間に対する認知負荷や視認できる情報がテレポートした先の一部に限定されるなどの両条件においてトレードオフの関係性にあると言える。そのため、今後は両条件の比較実験や複数シナリオでの調査の必要性がある。

6. おわりに

本稿では、ズーミングインタラクションを用いた手元カメラの切り替えが遠方のオブジェクト操作に与える影響を調査した。その結果、手元カメラへの切り替えにより、伸長した先の手の視認性が向上し、操作性を高める可能性がある。しかし、本システムにおける伸長した腕の操作方法や手元カメラの位置、表示方法が身体性を阻害する可能性が示唆された。今後の研究では、操作性、身体性の双方の両立を実現するため、これらの要素の組み合わせについて検討する。

参考文献

- [1] Victoria Interrante, Brian Ries, and Lee Anderson. Seven league boots: A new metaphor for augmented locomotion through moderately large scale immersive virtual environments. In *2007 IEEE Symposium on 3D User Interfaces*, 2007.
- [2] Sharif Razzaque, David Swapp, Mel Slater, Mary C. Whitton, and Anthony Steed. Redirected walking in place. In *Proceedings of the Workshop on Virtual Environments 2002*, EGVE '02, p. 123–130, Goslar, DEU, 2002. Eurographics Association.
- [3] Jonas Schjerlund, Kasper Hornbæk, and Joanna Bergström. Ninja hands: Using many hands to improve target selection in vr. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [4] Reigo Ban, Keigo Matsumoto, and Takuji Narumi. Hitchhiking hands: Remote interaction by switching multiple hand avatars with gaze. In *SIGGRAPH*

Asia 2023 Emerging Technologies, SA '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.

- [5] Ivan Poupyrev, Mark Billinghurst, Suzanne Weghorst, and Tadao Ichikawa. The go-go interaction technique: non-linear mapping for direct manipulation in vr. In *Proceedings of the 9th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '96, p. 79–80, New York, NY, USA, 1996. Association for Computing Machinery.
- [6] Tiare Feuchtnner and Jörg Müller. Extending the body for interaction with reality. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, p. 5145–5157, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [7] Jaejoon Jeong, Soo-Hyung Kim, Hyung-Jeong Yang, Gun A. Lee, and Seungwon Kim. Gaze-hand: A gaze-driven virtual hand interface. *IEEE Access*, Vol. 11, pp. 133703–133716, 2023.
- [8] 伊勢隆之介, 塚田浩二. Hideye: 片目を隠す動作による hmd 用インタラクション手法の提案. 情報処理学会インタラクション 2024, 2024. 公立はこだて未来大学.
- [9] 山本航世, 渡邊恵太. Parasights: 両眼視野闘争によって 2 つの環境と並行してインタラクションできる空間提示手法. In *WISS 2024*, 2024. 明治大学 総合数理学部.
- [10] 達也夏目, 裕也内村, アルサーテ クルツクリスチャン, 史久柴田, 朝子木村. Vr 空間操作コマンドとしてのアイジェスチャ ui の特性分析. 情報処理学会論文誌, Vol. 64, No. 2, pp. 312–325, feb 2023.
- [11] 中川航太郎, 井上康之, Harin Hapuarachchi, 杉本麻樹, 稲見昌彦, 北崎充晃. 伸長する腕に対する身体性の獲得: 伸長実装法による違い. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 27, No. 4, pp. 341–351, 2022.
- [12] G. Tieri, E. Tidoni, E. F. Pavone, and S. M. Aglioti. Mere observation of body discontinuity affects perceived ownership and vicarious agency over a virtual hand. *Experimental Brain Research*, Vol. 233, No. 4, pp. 1247–1259, 2015.
- [13] 楠木幹也, 古浜龍, 戸嶋龍佑, 森葉月, 謝浩然, 王子洋, 由井蘭隆也, 佐藤俊樹, 宮田一乗. M-brush: Vr 空間における多視点を利用したデザイン手法の提案. 情報処理学会インタラクション 2023. 北陸先端科学技術大学院大学, 2023. © 2023 Information Processing Society of Japan.
- [14] Stanislav L. Stoev and Dieter Schmalstieg. Ap-

plication and taxonomy of through-the-lens techniques. In *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '02, p. 57–64, New York, NY, USA, 2002. Association for Computing Machinery.