

バーチャルハンドのスケール変化を用いたハンドリダイレクション手法の提案

森本 浩輔* 渡邊 恵太†

概要. バーチャルハンドの位置・姿勢を現実の手とずらして表示するハンドリダイレクションは VR 空間の異なる位置へのリマッピングやユーザのインタラクションの範囲を広げることが可能である。本研究ではバーチャルハンドのリダイレクト中におけるスケール変化が、ユーザが気づかない実際の手の位置からのオフセットに与える影響を検証した。心理物理学の実験を実施し、バーチャルハンドのスケールを大きくすることでオフセットの閾値の上限が増加することを明らかにした。

1 はじめに

Virtual Reality (VR) コンテンツでは手を用いたインタラクションが多く利用されている。この手を用いたインタラクションにおいてカメラやセンサーの性能向上により、Meta¹や VIVE²などの主要な Head Mounted Display (HMD) がユーザの手の動きを直接追跡するハンドトラッキング技術を採用している。このユーザの手の動きを直接 VR 空間に反映させながら行うインタラクション (ダイレクトハンドインタラクション) は、直感的な操作が可能であり、ユーザの学習負荷を軽減する利点がある。しかし、ダイレクトハンドインタラクションはインタラクション可能な範囲がユーザの腕の可動域に制限される課題を抱えている [1]。これは、物理的制約が存在しない VR 空間の利点を十分に活用できていないことを意味する。

この課題に対応するため、バーチャルハンドのレンダリング位置を現実の手の位置とずらして表示する、ハンドリダイレクションが提案されてきた [6, 5, 2]。これらの手法は、視覚優位性 [3, 7] という複数の感覚情報が統合される際に視覚情報が強い影響を与える現象を利用している。

ハンドリダイレクションには、ユーザがバーチャルハンドと現実の手の位置のオフセットを認識しながらインタラクションを行う手法と、オフセットに気づかない状態でインタラクションを行う手法の 2 種類が存在する。前者の代表例として、Poupyrev ら [6] が提案した仮想身体となるバーチャルアームを伸ばす手法がある。この手法はインタラクションの可動域を大幅に拡大できる一方で、腕が長くなることによる角度調整の難しさ、腕を伸ばすジェスチャー

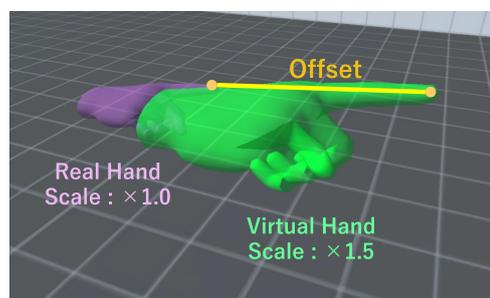


図 1. バーチャルハンドのスケール変化を用いたハンドリダイレクションの様子。

による疲労、身体所有感の低下といった課題が指摘されている [6, 10, 4]。後者は、オフセットを認識させないハンドリダイレクション手法は、上記課題に対応できる一方奥行方向に対する可動域の拡大率が小さいことが示されている [9]。

これらの既存手法の課題に対応するため、本研究では VR 空間におけるバーチャルハンドのスケール変化を用いた視覚刺激に注目した新たなハンドリダイレクション手法を提案する (図 1)。これは奥行方向に遠ざかっていくバーチャルハンドのスケールを大きくすることで、遠近感に錯覚を与え、バーチャルハンドの表示位置が実際より近く感じられるという仮説に基づいている。この手法により、低い疲労感と操作性を維持しながら、インタラクション可能な範囲の拡張が期待できる。

2 ソフトウェアシステム

本研究で扱うシステムの様子を図 1 に表す。本システムは Unity2022 にて VR 空間を構築し、Oculus Integration アセットによるハンドトラッキング機能を実装することで、直感的な操作を可能としている。ハンドリダイレクションの制御には、ボディワーピングを採用した。ボディワーピングは実装が容易でシステムの複雑性が低いという特徴を持つリダイレクション手法である [9]。この手法では、トラッ

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* 明治大学大学院 先端数理科学研究科

† 明治大学 総合数理学部

¹ <https://www.meta.com/jp/quest/quest-3/>

² <https://www.vive.com/jp/>

キングされた実際の手の位置からオフセットを加えたバーチャル手をユーザに表示する。このオフセットは目的となるバーチャルオブジェクトに近づくにつれて増加する。本システムでは、実際の手の位置と比べて奥行方向にオフセットが適応されるように、インタラクションを開始する原点 p_o から現実の手とバーチャル手の距離をスケーリングした。具体的には、原点から実際の手の位置までの距離 d_r にゲイン係数 g を適応することで、バーチャル手の動きを遅延 ($0 < g < 1$) または速度の増加 ($g > 1$) を与えることが可能である。バーチャル手の位置 p_r は以下の式で算出される。

$$\vec{p}_r = \vec{p}_o + \vec{d}_r \cdot g$$

さらに本システムでは、バーチャル手のリダイレクションに加えて、スケール変更機能を実装した。スケールの変更はバーチャル手の手首の位置を原点として、リダイレクションシステムと同様に目的となるバーチャルオブジェクトにバーチャル手が近づくほど変形が大きくなる。目的となるバーチャルオブジェクトまでのスケール変化の補完は、バーチャルオブジェクトに到達した際のスケールをあらかじめ設定することで算出した。バーチャル手のスケール vs は、目的オブジェクトの位置 p_g とスケールの最大値 s を用いて、以下の式で計算される。

$$vs > 1 : vs = 1.0 + \frac{(\vec{p}_r - \vec{p}_o) \cdot (s - 1)}{2 \cdot p_g}$$

3 ユーザスタディ

本ユーザスタディの目的は、バーチャル手のスケール変化がハンドリダイレクションに与える影響の調査である。本稿では Zenner と Kruger [9] の研究に倣いユーザが気づかないオフセットの範囲を調査した。

3.1 参加者

実験参加者は 8 名（男性 6 名、女性 2 名、平均年齢=22.3）で、18 歳から 26 歳であった。参加者は所属大学内の SNS を用いて募集をした。参加者はいずれも実験の目的を知らず、視力は正常または矯正済みで、感覚障害などはなく利き手を使用した。参加者は全員右利きであった。VR が未経験の参加者はおらず、1 名の参加者は過去数回の VR の経験、4 名の参加者が月に数度、定期的に VR を経験する機会があり、3 名の参加者が VR を日常的に触れている経験者か専門家であった。

3.2 方法

本実験では、初めに実験の目的とハンドリダイレクションの概念についての説明を受けた。参加者は、頭の位置と水平位置にある緑色のスタートポイントから 30cm 離れた青色のゴールポイントまで、

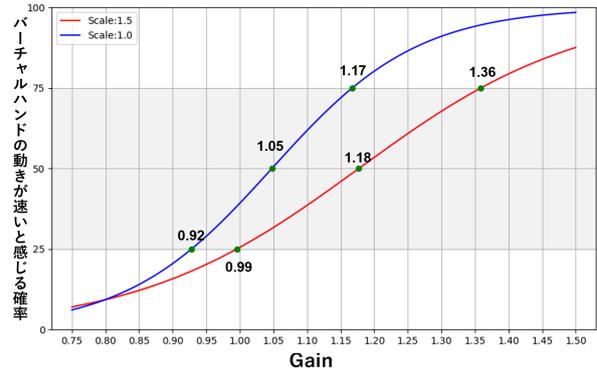


図 2. 各バーチャル手のスケールの変化率におけるバーチャル手の動きが速いと感じる確率の結果。

バーチャル手の人差し指を約 2~3 秒かけて移動させた。その後、バーチャル手の動きが実際の手と比べて速かったか遅かったかを 2 択で回答した。実験では、バーチャル手のスケール (1.0× と 1.5×)、ハンドリダイレクションのゲイン値 (0.75 から 1.5 の間) を組み合わせた条件で計 120 試行を実施する。これらの条件はスケールごとにランダムにされた順番で実施された。

3.3 結果と考察

実験から得られた回答から「速い」を 100%、「遅い」を 0% として算出し、Steinicke ら [8] のリダイレクトされた歩行閾値の導出と同様にシグモイド関数にフィッティングした。これは、シグモイド関数が両端で漸近する S 字カーブが人間の知覚反応の特性と近似しているためである。フィッティングした結果を図 2 に示す。これによりバーチャル手のスケールが増加することでユーザが気づかないオフセットの上限が増加することが示された (1.0×:1.17, 1.5×:1.36)。この現象は、物体のサイズと運動知覚の関係性に起因する可能性がある。人間の視覚システムにおいて、物体の見かけのサイズは運動知覚に重要な影響を及ぼすことが知られている。大きな物体の運動は相対的に緩やかに知覚される一方で、小さな物体の同一距離の移動はより大きな運動として知覚される傾向がある。

本研究で得られた知見は、バーチャル手のスケール特性が空間知覚に与える影響を実証的に示すものである。この結果は、VR 空間におけるインタラクション可能な範囲の拡大につながり、ダイレクトハンドインタラクションにおける新たなデザインの可能性を示唆している。

参考文献

- [1] R. Ban, K. Matsumoto, and T. Narumi. Hitchhiking hands: Remote interaction by switching multiple hand avatars with gaze. In *SIGGRAPH Asia 2023 Emerging Technologies*, pp. 1–2, New York, NY, USA, Nov. 2023. ACM.
- [2] T. Feuchtner and J. Müller. Ownershift: Facilitating overhead interaction in virtual reality with an ownership-preserving hand space shift. In *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, New York, NY, USA, Oct. 2018. ACM.
- [3] B. J. J. Gibson and J. J. Gibson. Adaptation, after-effect and contrast in the perception of curved lines. *Journal of Experimental Psychology*, 16(1):1–31, Feb. 1933.
- [4] K. Kilteni, J.-M. Normand, M. V. Sanchez-Vives, and M. Slater. Extending body space in immersive virtual reality: a very long arm illusion. *PLoS One*, 7(7):e40867, July 2012.
- [5] B. J. Matthews, B. H. Thomas, S. Von Itzstein, and R. T. Smith. Remapped Physical-Virtual Interfaces with Bimanual Haptic Retargeting. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 19–27. IEEE, Mar. 2019.
- [6] I. Poupyrev, M. Billinghurst, S. Weghorst, and T. 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*, New York, New York, USA, 1996. ACM Press.
- [7] I. Rock and J. Victor. Vision and touch: An experimentally created conflict between the two senses. *Science*, 143(3606):594–596, Feb. 1964.
- [8] F. Steinicke, G. Bruder, J. Jerald, H. Frenz, and M. Lappe. Estimation of detection thresholds for redirected walking techniques. *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, 16(1):17–27, Jan. 2010.
- [9] A. Zenner and A. Kruger. Estimating detection thresholds for desktop-scale hand redirection in virtual reality. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 47–55. IEEE, Mar. 2019.
- [10] 航太郎 中川, 康之 井上, H. Harin, 麻樹 杉本, 昌彦 稲見, 充晃 北崎. 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. *VR学会論文誌*, 27(4):341–351, Dec. 2022.