



ぼかし効果を適用した自己接触によって VR アバターへの身体所有感を向上させる手法の開発

平松広大, 窪田智徳, 佐藤理史, 小川浩平

名古屋大学大学院工学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

概要: バーチャルリアリティ体験において、ユーザとアバターの身体部位にずれが生じると、自己接触時に視覚と触覚の不整合が発生し、身体所有感の低下が懸念される。本研究では、ずれが発生した部位にブラー効果を適用することで不整合の知覚を低減する手法を開発し、その有効性を検証した。実験により、提案手法が不整合の悪影響を軽減し、身体所有感の維持に寄与することを確認した。

キーワード: アバター, 身体所有感, 自己接触, 視覚効果

1. はじめに

バーチャルリアリティ（VR）空間への没入体験は、専門技能の学習や医療目的において注目されている。VR 技術を活用することで、例えば火災時の対処 [1] や PTSD の暴露療法 [2] といった、現実では再現が困難な状況を VR 空間で疑似体験することが可能である。

こういった体験を行う VR コンテンツでは、使用者の身体表現としてアバターを用いることで、VR 空間での姿や動作を伴う体験を可能としている。この際、使用者は VR アバターを自分の身体の一部として認識する感覚 [3] や、自分が VR 空間に存在していると感じる感覚 [4] を得る場合があることが知られている。これらの感覚は、それぞれ身体所有感（sense of body ownership）および没入感（presence）と呼ばれ、VR での体験の質に影響を与える重要な要素である。

VR コンテンツの実用上の課題として、トラッキング能力に制限のある民生 VR 機器を使用する場合にはアバターとユーザで身体部位の位置にずれが生じる可能性がある。この位置ずれがユーザの体験に与える悪影響として、自己接触時の視覚情報と触覚フィードバックの不整合が挙げられる。自己接触は、腕を組む・脚をさすといった形で VR コンテンツの体験中にも自然に発生する動作である。こういった不整合な自己接触は、身体所有感や没入感の低下を引き起こす要因となる可能性がある。そのため、自己接触時の感覚の不整合がもたらす悪影響は、VR コンテンツの品質向上において解決すべき課題である。

先行研究では、様々な観点から身体所有感や没入感の発生条件が調査されている。例として、アバターの形状 [5] や外見 [6]、触覚フィードバック [7] などが身体所有感に影響を与えることが示唆されている。一方で、これらの先行研究の多くは使用者の身体を正確にトラッキングできていることを前提としたものとなっているが、実用上では必ずしも正確なトラッキングが行われるとは限らない。そのため、こういった先行研究の知見をユーザレベルで活用するためにも、トラッキング能力の低い民生 VR 機器を使用する場合であっても身体所有感や没入感を維持する手法の開発が求

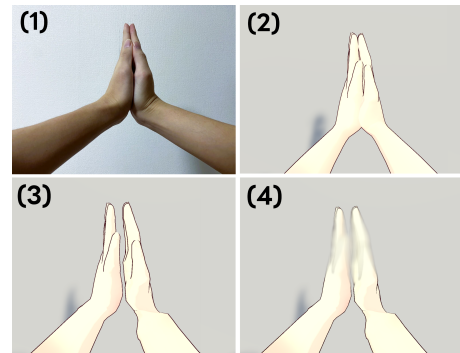


図 1: 不整合な自己接触とその改善手法のイメージ。(1)VR コンテンツのユーザが行う自己接触の例。(2) ユーザの動作が正しく反映された状態のアバター。(3) トラッキングにずれが生じ、ユーザの動作と不整合が生じた状態のアバター。(4) 不整合が生じた状態で提案手法を適用したアバター

められる。

したがって、本研究の目的は以下の 2 つである。

1. 視覚情報と触覚フィードバックに不整合が生じた状況での自己接触が、アバターへの身体所有感や VR 空間への没入感を低下させることの実証
2. 不整合な自己接触がもたらす悪影響を、トラッキング能力の増強、すなわちデバイスの追加や変更を行わずに改善する手法の開発

これらの目的を達成するため、アバターとユーザで身体部位の位置にずれを発生させることで不整合な自己接触を再現する実験用 VR システムを開発する。また、目的 2 における提案手法として、図 1 に示す視覚効果（ブラー）を用いてアバターの自己接触箇所をぼかす手法の開発を行う。この手法を適用したアバターで不整合な自己接触を行う実験によって、その有効性を評価する。

2. 実験方法

2.1 実験計画

前章の2つの目的において、不整合な自己接触が身体所有感と没入感に与える影響を調査し、それを改善する提案手法の有効性を評価するための実験を行った。

本実験における仮説は以下の2つである。

1. 視覚-触覚の不整合が発生した状況で自己接触を行うと、操作しているアバタへの身体所有感が低下し、VR空間への没入感が低下する。
2. 視覚-触覚の不整合が発生した状況で自己接触を行う際に、本研究の提案手法を適用すると、適用しない場合と比較して身体所有感と没入感が向上する。

2.2 実験条件

本実験では3つの条件で比較を行った。各条件は被験者内で比較を行い、条件の順序は参加者ごとにカウンターバランスした。

- **Congruent, no Blur (CnB) 条件:** アバタの位置ずれがなく、視覚効果もない。ユーザの身体を正確にトラッキングできている状況を想定した統制条件。
- **non Congruent, no Blur (nCnB) 条件:** 位置ずれは存在するが、視覚効果はない。トラッキングが不正確な状況を想定した条件。
- **non Congruent, Blur (nCB) 条件:** 位置ずれが存在し、提案手法である視覚効果を適用する。トラッキングが不正確な状況に提案手法を適用した場合を想定した条件。

CnB と nCnB を比較することで位置ずれの影響を調査した（仮説1）。また、nCnB と nCB を比較することで提案手法の効果を検証した（仮説2）。

2.3 実装

2.3.1 使用機器

実験ではVR機器としてMeta Quest3¹を使用した。付属のコントローラは使用せず、ハンドトラッキングのみで操作を行った。実験用VRシステムは、ヘッドセットの描画に十分なグラフィック機能をもつIntel Core i7-13700 CPU と NVIDIA GeForce RTX 4070 GPU を搭載したコンピュータで実行した。

2.3.2 実験用VRシステム

実験用VRシステムはUnity (2022.3.22f1²) を用いて開発した。本システムには、参加者が操作するアバタの手の位置を意図的にずらす機能と、自己接触箇所をぼかす視覚効果を実装した。

nCnB 条件および nCB 条件におけるユーザとアバタの身体位置のずれは、アバタの右手のIKターゲットを、実際に取得したトラッキングデータの位置からUnity座標空間でy軸正方向に0.05 m移動させることで再現した（図2）。条件

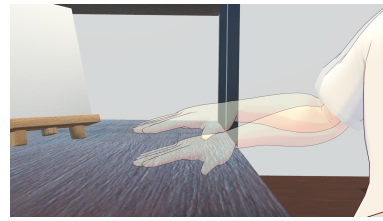


図2: 位置ずれの有無によるアバタの手の表示位置。本来の位置（下）と0.05 m 上方にずらした位置（上）。



図3: 提案手法によるぼかし効果を適用した自己接触時の一人称視点。

切り替え時、ずれの大きさは0.5秒かけて0 m から0.05 m まで線形に変化させ、シームレスな移行を実現した。

提案手法である視覚効果は、シェーダプログラムを用いて実装した（図3）。この効果は、アバタの右手と左手の中点を中心とする円形範囲に適用される。効果の強度と範囲は両手の距離によって動的に変化し、距離が縮まるにつれてぼかし効果の強さが徐々に増加する。これにより、VR体験全体の明瞭さを損なうことなく、接触箇所の不整合を知覚されにくくする効果が期待される。本手法はVR機器のトラッキング性能に依存しないため、追加デバイスなしで導入可能である。

2.3.3 VR空間の実験環境

VR空間の実験環境は一般的な内装の部屋を模しており、参加者が異様さを感じにくいように配慮した。参加者は現実空間の机の前に座り、VR空間内の対応する位置にも机のオブジェクトを配置することで、机との接触による触覚的な違和感を最小限に抑えた。タスクに無関係なオブジェクトは、参加者の手の届かない位置に配置した。

アバタはVRoid³を用いて作成し、身長は170 cm に統一した。参加者は自身の身長にかかわらず、同じサイズのアバタを操作した。

2.4 手順

初めに、参加者に対して実験の流れやタスクの内容についての説明を行った。自己接触タスクの教示は、参加者が実験者の実演に合わせて動作を練習することで行った。

実験は3条件（CnB, nCnB, nCB）にそれぞれ対応する3つのブロックに分けて実施した。各ブロックで参加者は自己接触タスクを行った後、その体験に対する印象をアンケートで評価した。

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

²<https://unity.com/>

³<https://vroid.com/>

2.5 評価指標

身体所有感および没入感を評価するため、各ブロック終了後にアンケート調査を実施した。設問は先行研究 [8, 9, 10] を参考に作成し、すべて 7 段階のリッカート尺度 (-3: 全くそう思わない - 3: 非常にそう思う) で回答を求めた。

使用した設問を以下に示す。Q1-Q3 が身体所有感、Q4-Q7 が没入感に関する項目で、Q2 と Q7 は反転項目である。

1. VR 空間で見たアバタの手や腕が、自分の手や腕であるように感じた (Q1)
2. VR 空間で見たアバタの手や腕が、他人の手や腕であるように感じた (Q2, 反転)
3. 実験中、自分の手や腕が複数存在しているように感じた (Q3)
4. 実験で利用した VR 空間の部屋に対して、自分がその部屋の中に居るように感じた (Q4)
5. 実験中、VR 空間が自分にとっての現実となり、現実世界のことを忘れてしまう時があった (Q5)
6. VR 空間を、「見たもの」ではなく「訪れた場所」のように感じた (Q6)
7. 実験中、自分は VR 空間に居るのではなく、単にヘッドセットを被って現実の椅子に座っているだけだと感じる時があった (Q7, 反転)

各スコアは以下の式で算出した。

- 身体所有感スコア = $Q1 - Q2 + Q3$
- 没入感スコア = $Q4 + Q5 + Q6 - Q7$

2.6 参加者

実験には、本研究の目的を知らない 27 名 (男性 15 名、女性 12 名) が参加した (年齢平均 21.3、標準偏差 1.86)。

3. 結果

身体所有感と没入感の結果を、それぞれ図 4 および図 5 に示す。ただし、指示と異なる方法でタスクを行うなど、実験が正常に実施されなかった 3 名のデータは除外した。

身体所有感の結果について、Wilcoxon の符号付き順位検定 (Holm 法による多重比較補正) を行った。その結果、仮説 1 に関して、位置ずれなし条件 (CnB) と比較して、位置ずれあり条件 (nCnB) においてスコアが有意に低下した ($W = 174, p = 0.0045$)。また、仮説 2 に関しては、位置ずれあり視覚効果なし条件 (nCnB) と比較して、視覚効果あり条件 (nCB) においてスコアが有意に向上した ($W = 48, p = 0.0387$)。

一方、没入感に関して同様の多重比較を行った結果、条件間で有意な差は見られなかった。

4. 議論

結果から、仮説 1 および仮説 2 を一部支持する結果が得られた。仮説 1 について、位置ずれなし条件 (CnB) と比較して、位置ずれあり条件 (nCnB) において身体所有感ス

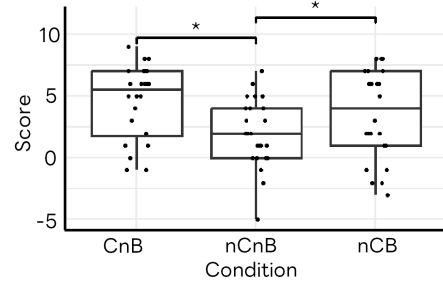


図 4: 身体所有感の結果

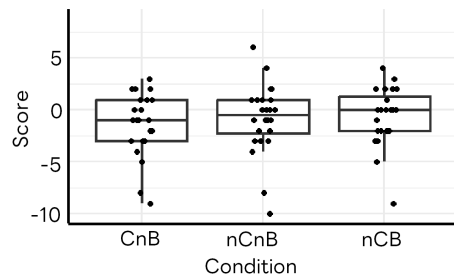


図 5: 没入感の結果

コアが低下したことから、使用者とアバタで視覚-触覚の不整合が生じた状況での自己接触が、身体所有感を低下させることが示された。仮説 2 について、位置ずれあり視覚効果なし条件 (nCnB) と比較して、視覚効果あり条件 (nCB) において身体所有感スコアが向上したことから、本研究で提案する視覚効果を用いることで、視覚-触覚の不整合が生じた状況で自己接触を行った際の身体所有感が向上することが示された。以上の結果から、VR 体験におけるアバタとの身体位置の不整合はユーザの身体所有感に悪影響を与え、提案手法はその悪影響を抑制できる可能性が示された。

一方で、没入感に関してはいずれの条件においても有意な差は見られず、仮説と一致しない結果となった。この結果について、今回の実験ではアバタの手元に集中するよう指示を行い、周囲の環境を意識しにくいタスク内容であったことが要因として考えられる。

5. 結論

本研究では、視覚-触覚の不整合が VR 体験に与える影響、およびその影響を抑制する新たな手法の開発と評価を行った。実験により、現実の身体とアバタの身体で位置がずれた状況での自己接触は身体所有感を低下させ、視覚効果を用いた提案手法の適用によって身体所有感の低下が抑制されることが示唆された。

一方で、この実験は短時間の VR 体験における単一のタスクとアバタのみの評価にとどまっており、一般化のためにはさらなる検討が必要である。今後の研究では、視覚効果を用いた提案手法の有効性をより詳細に評価するため、長時間の VR 体験での効果や、手以外の身体部位への適用に

ついて調査する予定である。

謝辞 本研究は、JST ムーンショット型研究開発事業 JP-MJMS2011 の支援を受けた。

参考文献

- [1] Aurelie Conges, Alexis Evain, Frederick Benaben, Olivier Chabiron, and Sebastien Rebiere. Crisis Management Exercises in Virtual Reality. In *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, pages 87–92, March 2020.
- [2] Oswald D. Kothgassner, Andreas Goreis, Johanna X. Kafka, Rahel L. Van Eickels, Paul L. Plener, and Anna Felnhofer. Virtual reality exposure therapy for posttraumatic stress disorder (PTSD): A meta-analysis. *European Journal of Psychotraumatology*, 10(1):1654782.
- [3] Mel Slater, Daniel Perez-Marcos, H. Henrik Ehrsson, and Maria V. Sanchez-Vives. Inducing illusory ownership of a virtual body. *Frontiers in Neuroscience*, 3(2):214–220.
- [4] Mel Slater and Sylvia Wilbur. A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6):603–616.
- [5] Ferran Argelaguet, Ludovic Hoyet, Michael Trico, and Anatole Lecuyer. The role of interaction in virtual embodiment: Effects of the virtual hand representation. In *2016 IEEE Virtual Reality (VR)*, pages 3–10, March 2016.
- [6] Valentin Schwind, Lorraine Lin, Massimiliano Di Luca, Sophie Jörg, and James Hillis. Touch with foreign hands: The effect of virtual hand appearance on visual-haptic integration. In *Proceedings of the 15th ACM Symposium on Applied Perception*, pages 1–8, Vancouver British Columbia Canada, August 2018.
- [7] Maryam Alimardani, Shuichi Nishio, and Hiroshi Ishiguro. Humanlike robot hands controlled by brain activity arouse illusion of ownership in operators. *Scientific Reports*, 3(1):2396, August 2013.
- [8] Anthony Steed, Sebastian Frlston, María Murcia López, Jason Drummond, Ye Pan, and David Swapp. An 'In the Wild' Experiment on Presence and Embodiment using Consumer Virtual Reality Equipment. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 22(4):1406–1414, April 2016.
- [9] Mel Slater, Martin Usoh, and Anthony Steed. Depth of Presence in Virtual Environments. *Presence*, 3:130–144, January 1994.
- [10] Mar Gonzalez-Franco and Tabitha C. Peck. Avatar Embodiment. Towards a Standardized Questionnaire. *Frontiers in Robotics and AI*, 5, June 2018.