



VR オーバーレイを用いた異種アプリケーション間の身体的インタラクションによる体験共有環境

Instructions for Preparation of Camera-ready Manuscripts
for Proceedings of the Virtual Reality Society of Japan

石橋優樹¹⁾, 三武裕玄¹⁾

Yuuki ISHIBASHI and Hironori MITAKE

1) 明治大学 先端数理科学研究科 (〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1, mitakelab.fms@gmail.com)

概要 : VR におけるシングルプレイヤー体験とソーシャル体験の分断という課題解決を目指し, VR オーバーレイを用いた異種アプリ間の体験共有環境を構築した. 本稿では, ゲームプレイヤーに対し視聴者が「指さし」で指示を送れる, 身体性を伴う双方向インタラクション手法を提案する. 提案手法の有効性を検証した結果, ターゲット指示タスクにおいて 89.2% の高い正答率を達成した. アンケートからはプレイヤー側の指示の認識しやすさ等に改善の余地も示されたが, 本システムは新たな VR 体験共有の基盤となりうる.

キーワード : VR コミュニケーション, 体験共有, ソーシャル VR

1. はじめに

近年, HMD の普及に伴い, VR 技術はゲームやコミュニケーションの分野で新たな体験価値を創出している. 特に VR 空間におけるコミュニケーション (以下, VR コミュニケーション) は, 音声だけでなく身体動作 (身振りや手振り) を用いる点に大きな特徴がある. これにより, 音声のみのコミュニケーションと比較し, 現実世界に近い非言語的な情報を含む対話が遠隔地間でも可能となる.

しかし, 現在の VR システムには, シングルプレイヤー VR ゲームの体験と, ソーシャル VR におけるコミュニケーションの両立が困難であるという課題が存在する. ソーシャル VR でのコミュニケーションを重視するユーザーは, そのコミュニティが形成されている特定のプラットフォーム内での活動に留まる傾向がある. このことは, ユーザーがコミュニティを離れて, 新たにシングルプレイヤー VR ゲームをプレイする動機を低下させる一因となる. この問題の背景には, 多くの VR アプリケーションが HMD を占有して動作するという技術的な制約がある. さらに, 仮に複数のアプリケーションを同時に起動できたとしても, CPU や GPU への過大な負荷が安定した VR 体験を著しく阻害する.

この課題を解決するため, 我々は異なる VR アプリを体験している人同士を相互接続することを目的とした研究を行っている. VR 体験者の主観映像とアバター動作を動画で記録・再生する手法 VTREX を基盤として, これまでに, VR ゲームをプレイ中のユーザーの体験をソーシャル

VR 内に提示する VtrexViewer[1](図 1)を提案した.

本論文では, VR ゲームプレイヤーからソーシャル VR への体験共有であった VtrexViewer を発展させ, ソーシャル VR ユーザから VR ゲームプレイヤーへ働きかける手段を追加し双方向化することを目的とする. 具体的には, 視聴ユーザーが配信ユーザーの視界に対して「指さし」による非言語的な指示や注意喚起を行えるインタラクションシステムを設計・実装する. これにより, 双方向の身体性を伴った, より豊かな VR 体験共有環境の実現を目指す.



図 1: VtrexViewer

2. 関連研究

複数ユーザー間での VR 体験共有には, ライブストリーミングを活用する研究がある. 例えば Kumaravel らの DreamStream[2]は, 深度情報付きの映像を配信することにより視聴者側で簡易的な 3D 空間を再構築し, 自由な視点での観戦を可能にする. 複数人での体験共有を行うアプローチとして CoVR[3]や JackIn[4]も提案されている.

また, 視点共有に加えて指さしによるコミュニケーションを支援する研究も存在する. 笠原らの JackIn[4]は遠隔作

業支援において、支援者が作業者の視点を共有しつつ、視界外の対象も指し示せる「テレポインティング」機能を実装した。Peng らの BeHere[5]も、ジェスチャーや仮想オブジェクトによる指示が遠隔協調作業の体験を向上させることを示唆しており、本研究が扱う身体的インタラクションの有効性を裏付けている。

3. 提案手法

本研究では、「VtrexViewer」に双方向インタラクションを可能にする新たなシステムの構築および既存の視聴体験の改善を行った。

3.1 提案システムの概要

提案手法は、以下の2つの要素から構成される。

- 指さしインタラクションシステム: 視聴者がプレイヤーに対して身体的なインタラクションを行うことを可能にする、SteamVR Overlay を用いた新規システムの開発。
- VtrexViewer における視聴体験の改善: 先行研究で課題であった、空間的残像提示における表示の不整合や視認性の問題を解決するための改良。

また、本研究では通常のVRアプリは多重起動できずVRゲームプレイ中だとソーシャルVRアプリが使えないという問題に対して、VRゲーム中に同時起動することができるOverlayアプリケーションの枠組みを使って他プラットフォームのプレイヤーを重畳表示することで解決する。

本稿では、VRゲームをプレイして様子を共有している使用者を「プレイヤー」、その様子をソーシャルVRで鑑賞している使用者を「視聴者」と呼ぶ。

3.1.1 VtrexViewer の動作原理

プレイヤーのVRゲーム体験をソーシャルVRプラットフォーム(VRChat)上で多人数ヘリアルタイムに共有するにあたり、まず配信側では、SteamVR Overlay アプリして実装された記録アプリが、HMDとコントローラーの位置・回転情報を白黒のカラーコード画像に変換し、ゲームの主観映像に重畳して配信する。この仕組みはVR体験共有システムVTREXによる。

視聴側では、VRChat内の専用ワールドで配信映像を入力すると、システムが映像内のカラーコードから姿勢情報を抽出し、逆運動学(IK)ライブラリを用いてプレイヤーの全身動作をアバターにリアルタイムに投影する。

さらに視聴体験の向上のため、主観映像を投影用アバターの遠方の巨大スクリーンに投影する手法と、カメラの過去画像を視点移動後も空間に残像として蓄積させる手法を組み合わせている。

3.2 指さしインタラクションシステムの構築

本研究の主要な貢献として視聴者がプレイヤーへ身体的なフィードバックを送る指さしインタラクションシステムを開発した。音声のみであった従来の関係性を、双方向の身体性を伴うコミュニケーションへと発展させる。

3.2.1 実装方針

本システムは、配信システムとの統合および視聴側でも

多重起動が必要となるため、SteamVR Overlay アプリとして作成した。

3.2.2 身体情報のリアルタイム同期

視聴者とプレイヤー間での身体的コミュニケーションを実現するため、システム利用者の手の位置・回転情報をリアルタイムで同期させる必要がある。この同期処理には、リアルタイムマルチプレイヤー通信を可能とするネットワークエンジンである Photon を利用した。これにより複数人の視聴者の手の動きを、プレイヤーのVR空間に反映させることができる。視聴者がプレイヤーに対して目標を明確に指示できるよう、視聴者の右手には簡易的なポインタを表示する。視聴者はこのポインタを用いて、ゲーム内の特定のオブジェクトや方向を指し示す(図2)。

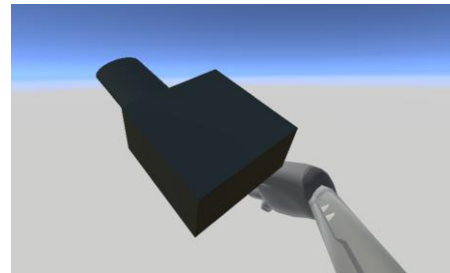


図 2: 右手に表示されるポインタ

3.2.3 Overlay 空間における 3D 描画

本システムは、VRゲームの上に透明な3D空間が重畳している形で存在する。この際、視聴者やプレイヤーのアバター本体は描画せず、同期された手(およびポインタ)のみを描画することで、ゲーム画面を阻害することなく、非言語的な指示を明確に伝達できる。

3.3 VtrexViewer における視聴体験の改善

先行研究の空間的残像提示には、2つの課題が存在した。本節では、これらの課題に対する改善策を述べる。

3.3.1 残像の表示不整合の解消

第一の課題は、視聴側ワールドのスクリーンサイズが、プレイヤーの主観映像における視野角と一致しない場合に、残像が連続的につながらず、オブジェクトの配置位置の整合性が低下する問題であった。

この問題を解決するため、本研究ではワールド内で視聴者がスクリーンの大きさを任意に調整できる機能を導入した。これにより、配信環境ごとの視野角の違いに対応し、より連続的で整合性の取れた残像表示を可能とした。

3.3.2 視認性向上のための残像へのぼかし処理

しかし、スクリーンサイズの調整を行ってもなお、プレイヤーが急な視点変更を行った際に残像の位置がずれる現象が発生した。また、現在の主観映像を映すスクリーンと背景の残像が同等の鮮明さで表示されるため、視聴者によっては両者の区別が付きにくく、視覚的疲労を覚えるという問題も指摘された。

そこで本研究では、これらの課題を解決する手法として、空間的残像提示に対してぼかし処理を適用した。この処理により、ズレの緩和と視認性の向上が期待できる。ぼかし効果が軽微な残像のズレを視覚的に吸収し、表示の違和感

を低減する。また現在の主観映像は鮮明なまま、背景となる残像のみがぼやけて表示されるため、両者の区別が明確になる。これにより、視聴者は現在の状況に集中しやすくなり、疲労感の軽減にもつながる。

4. 実験

本章では、提案した指さしインタラクションシステムの有効性を検証するために実施した評価実験について述べる。本実験は、提案システムが VR 空間における非言語コミュニケーション手法として、どの程度の空間的整合性と情報伝達の妥当性を有しているかを明らかにすることを目的とする。

4.1 実験概要

本実験では、プレイヤーと視聴者のペアによるターゲット指示タスクを実施した。視聴者が提案システムを用いて VR 空間内の特定のターゲットを指し示し、プレイヤーはその指示のみを頼りに、指し示されたターゲットを回答する。このタスクの正答率と、実験後のアンケートにより、システムの有効性を定量・定性の両面から評価した。

4.2 実験方法

4.2.1 実験環境

実験の参加者は 21 歳から 22 歳の男女 8 名（男性 6 名、女性 2 名）であった。参加者全員が右利きであった。

実験には、本研究で開発した VtrexViewer および指さしインタラクションシステムを用いた。タスクのために、専用の VR ワールドを配信側と視聴側でそれぞれ用意した。

配信側ワールド: プレイヤーの周囲 360 度を囲うように、球体のターゲットを配置した。ターゲットは、垂直方向に 4 段、水平方向に 8 列、合計 32 個設置されている。各ターゲットは、垂直方向の位置を色、水平方向の位置を番号によって一意に識別できるようにした(図 3)。

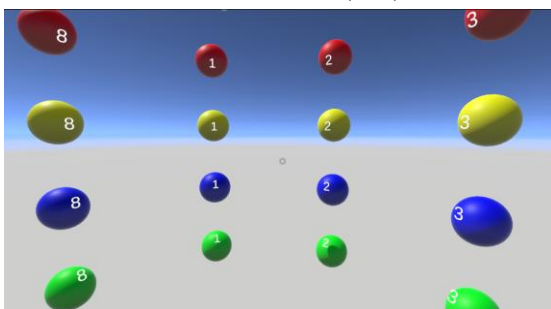


図 3: 実験用ワールドのターゲット配置

視聴側ワールド: VtrexViewer を通じて配信側ワールドの様子がリアルタイムに共有される。視聴者は、ポインタを用いて、配信映像内のターゲットを指し示す。

4.2.2 実験手順

実験は参加者 2 人 1 組のペアとなり、プレイヤー役と視聴者役に分かれ以下のタスクを行う。

- (a) 視聴者のターゲット指示: 視聴者は 32 個のターゲットから任意の一つを選択し、右手のポインタでその方向を指し示す。
- (b) 指示が完了したら、プレイヤーに合図を送る。
- (b) プレイヤーの回答: プレイヤーは、視聴者のポイン

タが指し示すターゲットを特定し、色と番号で回答する。

このタスクを 15 回完了した後、ペア内でプレイヤー役と視聴者役を交代し、再び同一のタスクを 15 回行う。全てのタスクが終了した後、参加者にアンケートを実施した。

4.2.3 実験における制約条件

本実験では、純粋に指さしインタラクションによる情報伝達の精度を評価するため、以下の制約条件を設けた。

プレイヤーの操作制限: プレイヤーは、コントローラーのスティック入力による移動や回転を禁止とした。視点移動は、HMD を物理的に動かすことによつてのみ行われる。

言語的補助の禁止: ターゲットの位置に関するヒントなど、補助的なコミュニケーションは禁止とした。

4.3 評価項目

4.3.1 定量的評価

タスク正答率: プレイヤーが、視聴者の指し示したターゲットを正しく言い当てた割合を計測した。

4.3.2 定性的評価

実験終了後、以下の質問項目について 7 段階のリッカート尺度（1: 全くそう思わない ～ 7: 非常にそう思う）で回答を求めるアンケートを実施した。

Q1(視聴者向け): 背景の累積提示（残像）はターゲットを視認するうえで見やすいと感じましたか？

Q2 (視聴者向け): ターゲットを指し示すのは簡単でしたか？

Q3(プレイヤー向け): プレイヤーにとって、視聴者によるターゲットの指示はわかりやすいと感じましたか？

5. 結果

5.1 定量的評価：タスク正答率

全 8 組の参加者による総試行回数 120 回のうち、視聴者の指示をプレイヤーが正しく回答した回数は 107 回、不正解は 13 回であった。これにより、タスクの正答率は 89.2% となった。この結果は、提案した指さしインタラクションシステムが、非言語的な情報伝達手段として十分に機能していることを示唆している。

不正解であった 13 件の内訳を分析したところ、ターゲットの垂直方向（上下）の誤認識に起因するものが 12 件であったのに対し、水平方向（左右）の誤認識は 1 件のみであった。水平方向のターゲット間隔が 45 度と比較的大きい設定であったことを考慮しても、水平方向の指示は正確に伝達されており、システムの空間的な整合性がある程度担保されていることが確認された。

5.2 定性的評価：アンケート結果

実験後に実施したアンケートの集計結果を以下に示す。

Q1: 1 名の例外を除き、多くの参加者(7/8 名)が、提案手法である背景の累積提示（残像）によるターゲットの視認性は悪いと感じていることが明らかになった。(図 4)

Q2: 参加者の大多数(7/8 名)が、ターゲットを指し示す操作自体は容易であると評価した(図 5)。

Q3: 肯定的な評価から否定的な評価まで幅広く分布した。指示の分かりやすさについては、参加者や状況によって評

価が分かれる結果となった(図 6)。

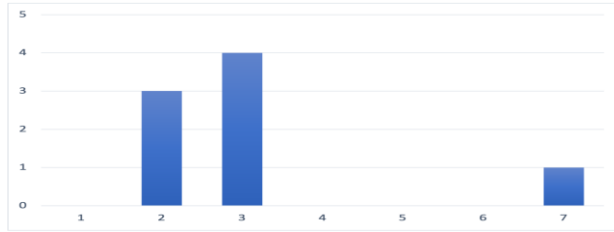


図 4:Q1 アンケート結果

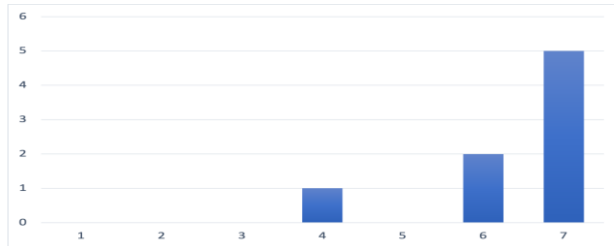


図 5:Q2 アンケート結果

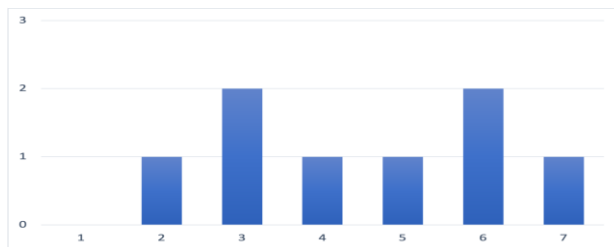


図 6:Q3 アンケート結果

6. 考察

6.1 視聴体験に関する考察

アンケート結果(Q1)および自由記述意見から、背景の累積提示(残像)の視認性には大きな課題が残されていることがわかった。特に、「視点を大きく動かした際の背景のブレ」「同一のターゲットの残像のブレ」という問題が挙げられた。本実験ではターゲットが色と番号で明確に区別できたためタスク遂行に支障は出にくかったが、オブジェクトの形状やテクスチャが類似する実際のゲーム環境では、この視認性の低さが体験の質を損なう可能性がある。

一方で、課題はありつつも「物体そのものが認識不能になるわけではない」という意見もあり、残像に適用したばかり処理がある程度の効果を発揮した可能性も考えられる。残像の更新頻度や表示方法については、さらなる改善が必要である。

6.2 インタラクションの有効性と課題

タスク正答率が 89.2%と高水準であったこと、そして視聴者側の操作感の評価(Q2)が高かったことから、提案した指差しインタラクションの基本的な枠組みは有効に機能していると考えられる。

しかし、プレイヤー側の評価(Q3)が分かれた点については、プレイヤー意見から、「ターゲットと視聴者のポイントを同時に視界内に捉えられない場合に確認にくい」という、視線の位置関係に起因する問題から推察できる。本実験ではプレイヤーの自由な移動を制限したため、死角にあるポイントを確認するためには不自然な姿勢で振り返

る必要があった。この「視線・姿勢調整の負荷」が、指示の分かりにくさや認知的・身体的負荷の高さにつながったと考えられる。

これは、システムの根本的な欠陥というよりは、プレイヤーの操作性に起因する課題である。実際の利用シーンでは、プレイヤーはより自由に移動・視点変更が可能であるため、この問題は緩和される可能性がある。一方で、視聴者のポイントをより発見しやすくするための視覚的な補助を導入することも、今後の改善策として有効であろう。

7. おわりに

本研究は、シングルプレイヤーVR体験とソーシャルVRでの身体的コミュニケーションの両立を目指し、「指差し」による双方向インタラクションシステムと視点残像表示の改良を提案した。評価実験では、ターゲット指示タスクで正答率 89.2%を達成し、提案手法の有効性を実証した。一方で、アンケートからはプレイヤー側での指示の認識しやすさや、残像表示の視認性には改善の余地があることも示された。

今後の課題として、残像表示の安定化や、視野外のポインターを指し示す補助UI導入によるインタラクションの改善が挙げられる。本研究で拓いた双方向コミュニケーションの基盤は、プレイヤーと視聴者が一体となる新たなVRゲーム配信体験を創出するだけでなく、将来的には遠隔作業支援など、より実践的な分野への応用が期待される。

参考文献

- [1] 石橋優樹, ドコカノウさぎ, 三武裕玄, 2024, シングルプレイヤーVRゲームのオンライン共同プレイ体験を実現する映像・身体動作共有環境: エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2024 論文集, 549-551 p.
- [2] Kumaravel, B. T., & Wilson, A. D. (2022). DreamStream: Immersive and Interactive Spectating in VR. CHI '22 Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Article No.: 636, Pages 1 - 17
- [3] Ikuo Kamei, Changyo Han, Takefumi Hiraki, Shogo Fukushima, Takeshi Naemura(2020). CoVR: Co-located Virtual Reality Experience Sharing for Facilitating Joint Attention via Projected View of HMD Users, SA '20: SIGGRAPH Asia 2020 Emerging Technologies Article No.: 14, Pages 1 - 2
- [4] Shunichi Kasahara and Jun Rekimoto. 2014. JackIn: Integrating first-person view with out-of-body vision generation for human-human augmentation. Proceedings of the Augmented Human International Conference (2014), Article 46, 1-8.
- [5] Wang, P., Wang, Y., Billinghamurst, M. et al. BeHere: a VR/SAR remote collaboration system based on virtual replicas sharing gesture and avatar in a procedural task. Virtual Reality 27, 1409-1430 (2023)