



HMD 視点映像のプロジェクタ投影による VR 体験の共有

亀井郁夫¹⁾, 韓燦教¹⁾, 平木剛史²⁾, 福嶋政期³⁾, 苗村健³⁾

- 1) 東京大学 大学院情報理工学系研究科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, {kamei, hanc}@nae-lab.org)
 2) 大阪大学 大学院基礎工学研究科 (〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3, hiraki@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp)
 3) 東京大学 情報学環 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, {shogo, naemura}@nae-lab.org)

概要: HMD の普及により, 個人が VR 空間に没入して実空間とは乖離した体験をすることが容易になってきた. しかしながら, HMD を装着して VR を体験する際には同じ実空間にいる他者にはその体験が伝わりにくいため, VR 体験の共有やコミュニケーションが難しい. そこで, HMD にレーザー投影プロジェクタを装着して VR プレイヤーの視野を実空間の壁面に投影することで, 周囲の人の注視の方向が同期しかつ没入感のある体験を可能にすること提案する. その際の映像投影や描画の工夫や周囲の人が方向指示を通して VR 空間に介入する手法を提案し, その実装および応用例を示す.

キーワード: HMD, レーザープロジェクタ, 共同注視, VR

1. はじめに

Head Mounted Display (HMD) は徐々に普及が進んでおり, 実空間とは異なる VR 空間に没入してゲームや会話をするのが容易になってきている. しかし, HMD を着用し 1 人で VR コンテンツを体験している際, 同じ空間に他人の身体が存在しているのにもかかわらずコミュニケーションが難しいという課題がある. これは, 一般に HMD を装着して VR を体験しているユーザの周りにいる人はそのユーザが何を体験しているのかわからない上, ユーザの顔が HMD で覆われてしまっているためコミュニケーションを取るインセンティブに乏しいからだと考えられる.

HMD での VR の体験を他者に共有する状況において, HMD を装着しているユーザを Primary Player, それ以外のユーザを Secondary Player とよぶ. その上で Primary Player (PP) と Secondary Player (SP) が同一空間に存在している場合をローカルな VR 体験共有, 異なる空間に存在している場合をリモートな VR 体験共有とよぶ.

既存のローカルな VR 体験共有の手法として, PP の視野の映像をディスプレイに表示する方法や, PP も SP も HMD を装着し VR 空間を共有する手法, また PP の周囲にスクリーンを配置して PP からの視野を投影する手法 [1, 2], ハンドヘルドディスプレイや天井からの映像投影を通して VR 空間を提示する手法 [3] がある.

しかしながら, これらの手法のうち以下の 3 つの要件を同時に満たしているものはない.

PP の身体的自由度

共有を行うために PP の体験が損なわれてしまうのは望ましくない. 例えばプレイできるエリアが極めて限

定されていたり, 頭部を向けてよい方向が限定されたりしている場合は自由度が損なわれているとみなす.

SP の身体的関与

人間が実空間を把握する際には周囲を見回すといった自らの身体を伴う. VR 空間の把握においても例えば HMD での VR 体験やスマートフォンを用いた AR 体験では身体運動を伴う. 能動的な運動を伴うほうが VR 空間を体験する際の軽減する傾向が実験から示されている [4, 5].

PP と SP の共同注視

コミュニケーション, 特に共同作業が円滑に進むためには他者の注意と自己の注意の対象が一致していることが重要であり [6], 共同注視がデザインされているかは重要な観点である.

本稿では 3 つの要件を同時に満たすローカルな VR 体験共有の手法のコンセプトと実装を提示し, さらにこのシステムの応用例を示す.

2. 提案手法

本節では前節で挙げた 3 つの観点をすべて満たすローカルな VR 共有手法のコンセプトを提案する. 図 1 にその概要を示す. まず PP の装着している HMD に小型のプロジェクタを固定し, そのプロジェクタから PP の視野を投影する. これによって PP と SP は視野を共有するため共同注視が生まれると同時に, SP が PP と同期して身体運動を伴うことによって VR 空間を把握することができる. さらに, このシステムは HMD を通して VR 空間に没入する PP には干渉しないため, PP の自由度が下がることはない.

このシステムにおいて検討すべき点として, SP が空間把握をしやすい映像の提示, SP が VR 空間に介入する手法と

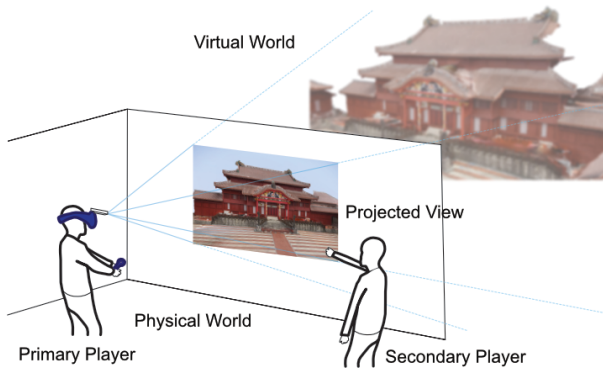


図 1: 提案するシステムのコンセプト. 投影された PP 視点の映像を通して SP が VR 空間を把握する.

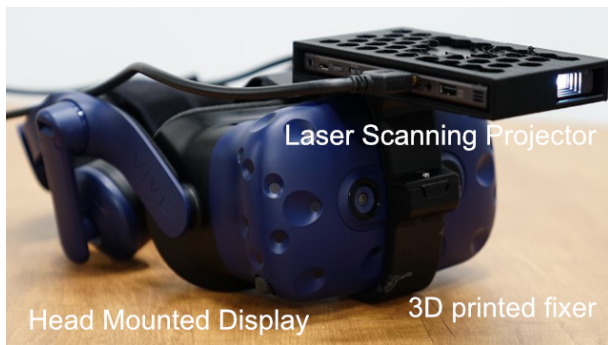


図 2: レーザースキャンプロジェクタをマウントを介して HMD に固定した様子.

いう 2 点が挙げられる. 本節ではそれぞれに関して提案する手法を述べる.

2.1 映像の描画・投影手法

このシステムにおいては PP にプロジェクタを取り付けて投影するため, 投影面との距離や角度が常に変化する. しかしながら, 一般的なプロジェクタは焦点距離以外の面に投影すると映像がボケるため適さない. そこで, 各画素を順に走査して投影するレーザースキャンプロジェクタ (SONY, MP-CL1A) を採用することで, PP の姿勢によらずにピントの合った映像を投影することを可能にした. 3D プリントで作製したマウントを介してこのプロジェクタを HMD (HTC, HTC Vive Pro) に固定した (図 2).

また, このシステムにおいては VR 空間で静止している物体は PP が移動しても投影面上において静止して見ることが望ましい. これを実現するために, 映像を投影するプロジェクタの FoV (Field of View) を VR 空間内のカメラの FoV として用いる. これによって PP が回転しても投影される映像上では静止した物体は静止して見える.

さらに, 一般的なレーザプロジェクタの FoV は HMD よりも狭いため, PP から距離の近い物体が画角のほとんどをカバーしてしまい SP の空間の把握が妨げられる可能性がある. そこで, 投影する映像を描画する際に物体の透明度を距離によって変化させることで, SP に対してできるだけ提示する情報を減らすことなく見やすい映像を提示する

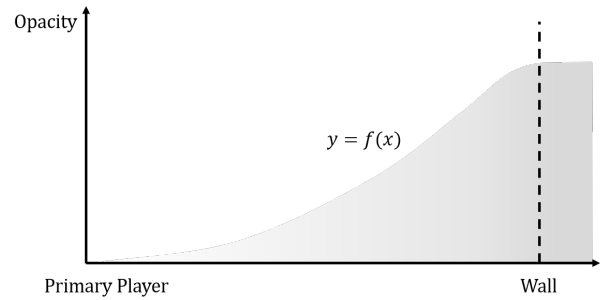


図 3: PP と VR 空間内の物体, 実空間の投影面の相対的な位置関係によって透明度を変化させて描画する仕組み. 横軸は物体が PP からの距離を表し, 縦軸は SP に提示する映像における物体の不透明度を表す.

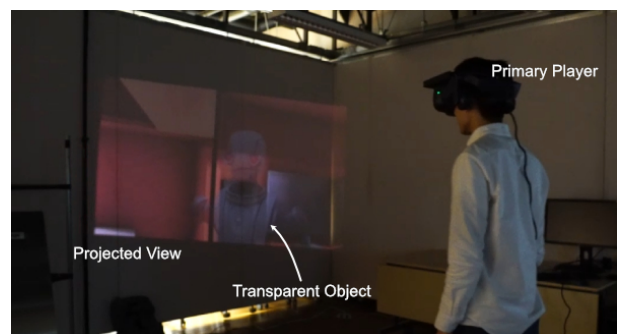


図 4: 物体との距離によって透明度を変化させて描画している様子. PP から距離が近いロボットが透過して表示されている. 物体が PP に近ければ近いほど透明度を高くすることで投影映像がブロックされるのを防ぐ.

ことを提案する. 具体的には, PP と映像の投影面の距離を 1 と正規化し, PP と VR 空間内の物体の距離を x とする. その上で物体の不透明度 y を x の関数 $f(x)$ として定め, 物体の不透明度が PP からの距離に応じて変化するようにする (図 3). $f(0) = 0$, $f(1) = 1$, その間を連続な単調増加関数とすることで, 物体が PP に近ければ近いほど透明度が大きく, 投影面よりも遠い場合には不透明な状態で描画される. これを実装した様子を図 4 に示す.

2.2 SP による方向指示手法

SP が VR 空間に介入する手段の一つとして, VR 空間内の物体をポインターで指示できるようにする. これによって SP が PP に対して操作を細かく伝えたり, 特定の物体への関心を伝えたりすることができる.

最も簡易的な方法は PP が操作に用いるのと同じコントローラを Secondary Player がもちポインターとして動作させることだが, この方法では PP と SP の視点の違いによって, コントローラが指している方向とそれが投影されている方向にズレが生じてしまい, SP の操作に違和感が生じる.

そこで, SP が投影された映像に対して指示する際, 映像上の指示位置と VR 空間内の指示位置が一致するようなシステムを提案する. 図 5 にシステムの概要を示す. まず, SP はレーザポインター (808 nm) で投影面上の 1 点を

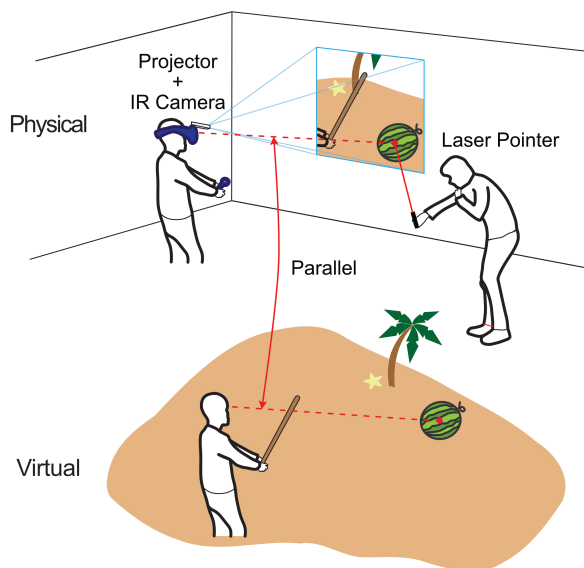


図 5: SP が VR 空間にレーザポインタを用いて介入できるようにするシステム。レーザポインタの光を HMD 前面の可視光をカットしたカメラで捉えてカメラに対する方向を計算し、VR 空間ではそれと同じ方向に PP からレイを出すことで実空間の方向指示を VR 空間に変換する。

指示する。これを HTC Vive Pro の前面のカメラが捉え、カメラの投影行列から指示された方向を計算する。VR 空間においてその方向に対して PP からレイを飛ばし、レイが当たった物体が Secondary Player が指示した物体となる。HMD 前面のカメラには 800 nm 以下の波長を遮断するフィルム（富士フィルム IR-80）を取り付け、プロジェクターが投影した映像を除きレーザーポインタの光のみを捉えられるようにした。PP と SP の距離に比べて HMD のカメラとプロジェクターの距離は大幅に短いため、視点の違いによる指示点のずれが低減される。

図 6 にこの指示システムの動作の様子を示す。前面のカメラが 2 個あるため、現状それぞれのカメラからの情報で推定した指示位置を表示しているが、将来的には情報を組み合わせより正確な推定を行う予定である。

3. アプリケーション

3.1 3D モデル・全天周映像を用いた「物語」の共有

VR 空間内で複数人の共同注視が自然と生まれるこのシステムにおいては PP と SP の間での意思疎通が容易である。この特徴から、複数人で同時に VR 空間に没入して話題をともにすることができ、過去の経験や将来の計画といった「物語」を共有することに適している。

図 7 に示すのは、「みんなの首里城デジタル復元プロジェクト」[7] で作成された首里城正殿の 3D モデルを取り込み、このシステムを用いて共有している様子である。解説員が PP として HMD を装着し、周囲の観光客の視線を誘導しながら建物や歴史について解説することを想定している。このシステムでは PP 用の映像と SP 用の映像は別々に

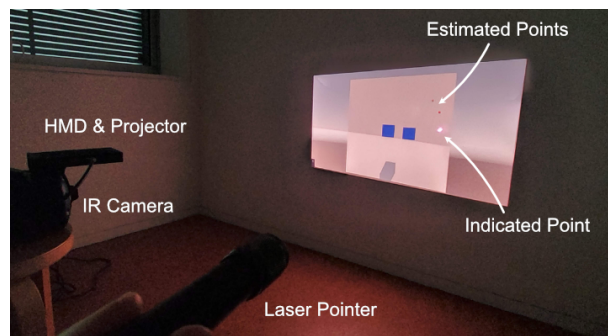


図 6: SP による VR 空間介入システムを実装した様子。HTC Vive の前面の 2 つのカメラそれぞれを用いて方向を推定しており、赤・橙がそれぞれ左・右のカメラから推定した結果を示している。プロジェクターと 2 つのカメラが離れて位置しているため、ずれが生じている。



図 7: 「みんなの首里城デジタル復元プロジェクト」[7] の 3D モデルを用いて VR 空間を共有している様子。

レンダリングしているため、解説員に対してのみ原稿や経過時間など必要な情報を提示することもできる。近年 VR は災害や戦争の体験を共有する手段としても利用されており [8]、このシステムを活用すれば語り部が HMD を用いてより鮮明な体験を語ることができ、聞き手もその体験を語り部の目線で追体験することができる。

また、図 8 で示すように予め撮影した全天周映像を取り込んで共有することもでき、旅行先で撮影した全天周映像を家族や仲間と見返すといった場面に活用できる。

3.2 技術の伝達

危険な機器の操作の習得のために VR を用いる取り組みがあるが、このシステムを活用することで教育を行う参加者も VR 空間に没入できるほか、バーチャル訓練の見学が容易になる。図 9 に訓練のイメージを示す。訓練を受ける参加者は PP として HMD を装着する一方、教育を行う参加者は SP として投影される映像をもとに訓練者を監督し適切な指示を出す。この際、前節で述べたレーザー光を用いる指示手法によって細かい作業を伝達することができる。さらに、訓練者と教育者以外の人が訓練を見学するのも非常に容易であり、訓練を待つ他の参加者がイメージトレーニングを行うのにも適している。

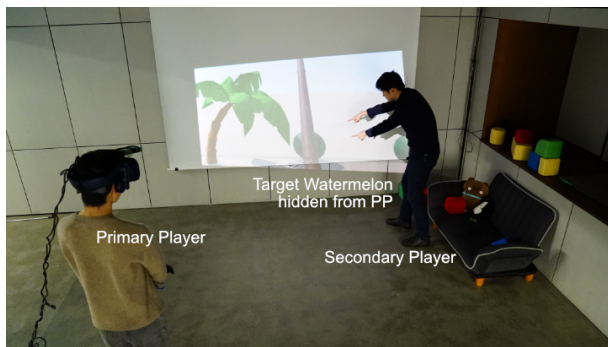


図 10: 「バーチャルスイカ割りゲーム」をプレイしている様子。SP が PP に対して口頭で指示を出し、うまくスイカを割れるように誘導する。



図 8: 全天周画像を取り込んで提案システムで共有している様子。共同注視が生まれているため会話の話題が定まりやすい。

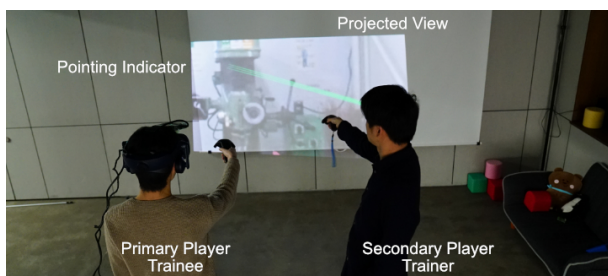


図 9: 提案システムを利用した作業員訓練の様子。教育者がポインターを用いて訓練者に細かい作業を指示でき、周りの見学者も共通の VR 空間に没入できる。

3.3 情報の非対称性を利用した「遊び」

PP と SP に対して提示する情報を変えることで、参加者同士のコミュニケーションを促進するような「遊び」を設計することもできる。図 10 に示す「バーチャルスイカ割りゲーム」では、SP には砂浜の上にあるスイカが見えている一方、PP には見えていない。SP は口頭で PP に方向や距離を的確に伝え、PP がスイカを割るガイドをする。参加者がペアでチームを組んだ上で PP と SP に分かれてスイカを割るまでの時間を競うルールで、良いスコアを得るためには参加者同士のコミュニケーションが鍵となる。

4. まとめ

本稿ではローカルな VR 空間の共有のために、HMD に小型のプロジェクタを装着して PP 視点の映像を投影する

ことで SP に対して VR 空間の体験を共有するコンセプトを示し、その実装と映像の適切な描画手法、SP の VR 空間への介入手法を提案した。このシステムでは参加者同士の共同注視が自然と生まれてコミュニケーションが促進されるほか、SP も HMD を装着することなく VR 空間に没入できる。また応用例として、共同注視を活かした体験の共有や、情報の非対称性をゲーム化した例を述べた。今後は単にディスプレイに視野を表示したときこのシステムを利用したときで SP の VR 空間への没入感を比較する実験や、レーザー光を用いた指示方法の精度や応答速度の向上に取り組む予定である。

参考文献

- [1] A. Ishii, M. Tsuruta, I. Suzuki, S. Nakamae, T. Minagawa, J. Suzuki and Y. Ochiai: "ReverseCAVE: Providing reverse perspectives for sharing VR experience", ACM SIGGRAPH 2017 Posters, SIGGRAPH 2017, Association for Computing Machinery, Inc, pp. 1-2 (2017).
- [2] A. Ishii, M. Tsuruta, I. Suzuki, S. Nakamae, J. Suzuki and Y. Ochiai: "Let Your World Open: CAVE-based Visualization Methods of Public Virtual Reality towards a shareable VR Experience", AH2019: Proceedings of the 10th Augmented Human International Conference 2019, Vol. 33, Association for Computing Machinery, pp. 1-8 (2019).
- [3] J. Gugenheimer, E. Stemasov, J. Frommel and E. Rukzio: "ShareVR: Enabling Co-Located Experiences for Virtual Reality between HMD and Non-HMD Users", Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, Association for Computing Machinery, pp. 4021-4033 (2017).
- [4] S. Sharples, S. Cobb, A. Moody and J. R. Wilson: "Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems", Displays, **29**, 2, pp. 58-69 (2008).
- [5] K. M. Stanney and P. Hash: "Locus of user-initiated control in virtual environments: Influences on cybersickness", Presence: Teleoperators and Virtual Environments, **7**, 5, pp. 447-459 (1998).
- [6] K. Gupta, G. A. Lee and M. Billinghurst: "Do you see what i see? the effect of gaze tracking on task space remote collaboration", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, **22**, 11, pp. 2413-2422 (2016).
- [7] "みんなの首里城デジタル復元プロジェクト — Shuri Castle Digital Reconstruction".
- [8] "戦後75年 吉永小百合 戦争を語り継ぐ - NHK クローズアップ現代+".