

# 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

山本 航世\* 渡邊 恵太\*

**概要.** 本研究は、複数の空間と並行してインタラクションできる仕組みとして、両眼視野闘争の特性を活用した手法を提案する。複数環境の同時体験インタラクションとして、従来は視野分割やオーバーレイといった手法が試みられてきたが、それらは操作効率の低下や自己投射性の欠如といった課題があった。本研究では、左右それぞれの眼に異なる第一人称視点を提示する「ParaSights」を提案し、視点切り替えの操作を必要とせず、2空間と並行してインタラクションできるシステムを実現した。ParaSightsは、左右それぞれの眼に異なる視点を提示することで視覚闘争を誘発し、2視点の見え方が無段階に切り替わる仕組みである。これにより、体験者は2つの環境に同時に没入し、直感的に操作できる。11名を対象とした試用により、VR酔いを誘発することなく、異なる2つの視点を同時に知覚できることが明らかになった。また、視野闘争がもたらす知覚の切り替わりが、体験者の意図により一定程度制御できる可能性が示唆された。

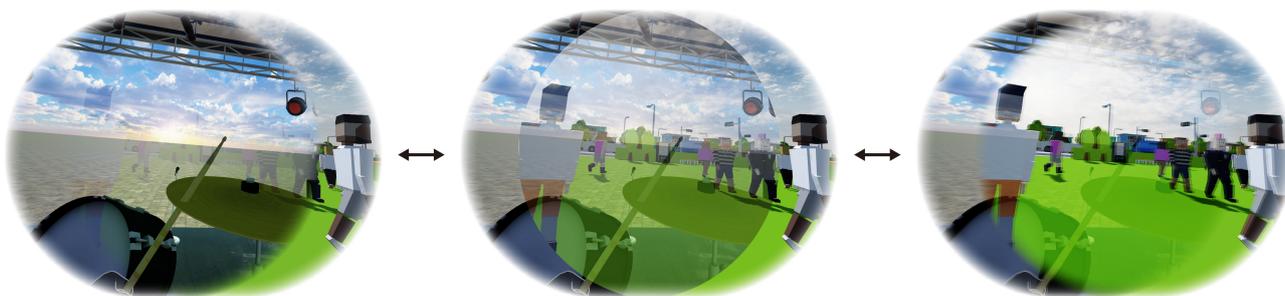


図 1. ParaSights は左右の眼に別々の視点を提示し、2つの環境を同時に体験する仕組みである。両眼視野闘争を活用し、2視点の見え方を体験者の意識に応じて制御する。(画像は見え方の再現)

## 1 はじめに

人間は自身の眼で知覚した1つの第一人称視点を体験している。バーチャルリアリティ (VR) 手法によってバーチャル身体の第一人称視点に没入できる [12] が、通常は複数の第一人称視点を同時に知覚できない。複数の第一人称視点を同時体験できれば、バーチャル身体の動作を第三者の視点から観測する、2つのバーチャル身体を同時に操作するような体験ができる可能性がある。このようなパイロケーションの考え方はこれまでも探求されており [32][5][1][8][21]、1人の操作者による複数ロボットとのインタラクション [6][14] や、他者との視覚共有の技術 [11][16][18][10][23][29] に応用されている。

一方、VRにおける複数視点の提示と操作のインタラクションに関しては未だ課題が残っている。三浦らが提案した MultiSoma [19] は、複数のバーチャル身体の視点を視野分割して提示する手法である。

同手法ではヘッドマウントディスプレイ (HMD) の表示領域を分割し、それぞれに各バーチャル身体の第一人称視点を歪めて提示している。そのため、実空間の手の位置とは異なる複数の位置にバーチャル身体の手が提示されるなど、バーチャルリアリティの三要素 [34] の1つである自己投射性を欠いている。Schjerlundらが提案した OVRlap [25] は、バーチャル環境内の離れた場所に存在する複数の視点をオーバーレイして提示する手法である。体験者は、アクティブな視点でのみオブジェクトを操作でき、パッシブな視点のオブジェクトは半透明で表示される。視点はジョイスティックを左右に倒すことで切り替えられるが、視点切り替え操作にかかる時間が操作効率の低下を引き起こす課題として指摘されている。

そこで我々は両眼視野闘争に注目した。両眼視野闘争の性質を利用すると、これらの課題を解決できる可能性がある。両眼視野闘争とは、左右の眼に異なる像を提示した場合、脳が混乱し両眼の像が1つに融合せず、知覚される像が時間とともに交互に入れ替わる現象である。像が入れ替わる周期は不規則

Copyright is held by the author(s).

\* 明治大学 総合数理学部

であるが、知覚されている時間の割合を大まかにコントロールすることは可能である。そのため、2つの視点の見え方は体験者の意識に応じてある程度切り替えられる可能性がある。

本研究では、左右それぞれの眼に異なる視点を提示し、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仕組みである ParaSights を提案する(図1)。ParaSightsは、両眼視野闘争を活用し、2つの視点の見え方を体験者の意識によって変化させる。これにより、体験者は並行して提示された2つの環境に同時に没入し、インタラクションできる可能性がある。本稿では、両眼視野闘争を活用して2つの環境を同時体験する場合の操作手法と2視点の切り替わりについて探求する。

## 2 関連研究

### 2.1 両眼視野闘争

両眼視野闘争とは、左右の眼に異なる像を提示した場合、脳が混乱し両眼の像が1つに融合せず、知覚される像が時間とともに交互に入れ替わる現象である。両眼視野闘争は1838年のWheatstoneらによる研究[31]より永く心理学や脳神経科学の領域で研究されているが、未だ全てが解明されていない。像が入れ替わる周期は不規則であるが、知覚される時間の割合は大まかに制御できることが知られている。例えば、コントラストの高い像は低い像よりも知覚される時間の割合が大きく[20]、明度が高い像は低い像よりも優勢になる[9]。また、輪郭が大きく変化する像は小さく変化する像よりも優位になり[3]、空間周波数が高い像は低い像よりも知覚されやすい[4]。さらに、知覚が切り替わるタイミングは体験者の意図や注意によってある程度制御でき、練習によって制御の精度を上げられる[17]。本研究では、この両眼視野闘争の特性を活用し、体験者の意識に応じて2視点の見え方を制御する。

### 2.2 両眼視野闘争を活用したシステム

水野らは、独立した視野を両眼に呈示してカメレオンの視野を再現するバーチャルカメレオンを提案した[35]。同手法では、2台のCCDカメラの画角をトラックボールで制御し、カメラから得られた視点を左右の眼に別々に提示する。これにより、体験者は独立した2つの視野を獲得し、視野を拡張できる。しかし、視野内の刺激に対する反応速度の低下が確認されており、独立した視点の提示が反応速度を低下させることを示している。一方で、左右の眼に提示された2つの独立した視点を人間が並行して認知できる可能性も示唆している。ただし、水野らの研究は視野拡張に焦点を当てているため、本研究では異なる場所に配置した2視点を並行して認知できるか確認する。

凱らは、片目のみUI画面を表示することで、ビジュアルシーンを隠さずに情報を確認できるBUI(binocular rivalry UI)を提案した[7]。実験結果では、BUIが従来の半透明UIと比較してビジュアルシーンの視認性が有意に向上させたが、UIの読みやすさは低下した。これは、両眼視野闘争が注意をUIと視覚シーンに分散させ、文章を読むような認知負荷の高いタスクには適さないことを示している。そのため、本研究では文字情報の読解を避け、認知負荷が比較的低い場面での活用を目指す。

落合らは、2つの高解像度ディスプレイに異なる2枚の画像を提示し、両眼視野闘争を引き起こす視野闘争万華鏡を制作している[22]。

村本らは、等倍速の映像と1/2倍速の映像をそれぞれ両眼に提示し、リアルタイムとスローモーションの体験を同時に提供するRS-lensを提案している[36]。この手法では、両眼に提示された異なる速度の映像が1つの像として認識された。これは、両眼に提示する映像に大きな差分がない場合、視野闘争が起こりにくい可能性を示唆している。本研究では、両眼に提示する映像の差分を大きくして視野闘争の影響を高め、2つの視点を独立して認識できるようにすることを目指す。

### 2.3 単眼立体視

Vishwanathらは、両眼視差が存在しない場合も立体視が生じうることを示し[30]、両眼視差が立体視の主要な要因であるとする従来の理論[24]を覆した。静止画を片目で見ても立体視が生じるという報告もあり[15]、Vishwanathらは、こうした単眼立体視の現象について検証した。同氏らは、静止画を様々な条件(両眼視、単眼視、単眼開口視、両眼開口視)で観察した場合の奥行きや質的特性の変化を調査した。開口視では、絵画の額縁を排除するために、小さな開口部を通して観察した。その結果、単眼開口視条件は両眼視条件よりも強い立体視を得た。また、単眼開口視条件は単眼視条件よりも立体視の印象が有意に強かった。同氏らはこの結果から、絵画の表面視認性の低下によって、立体知覚が絵画の奥行き表現に影響されやすくなり、単眼立体視が生じた可能性を指摘している。HMDを用いた本システムは、同氏らの実験における単眼開口視条件と同じようにバーチャル環境を穴を通して見るような条件となっているため、この単眼立体視の現象が発生する可能性がある。

### 2.4 VRにおいて複数の視点を提示する手法

**画面分割して提示する手法** 三浦らは、最大4つのバーチャル身体を同時に制御し、各身体からの一人称視点を視野分割して提示するMultiSoma[19]を提案した。体験者は各身体に身体化感覚を維持しつつ、適切に注意を切り替えながら操作できる。また、

適切な身体を選択することで移動距離が減少し、タスク効率が向上する。しかし、同手法はバーチャル身体の一人称視点を視野分割で提示するため、視点が歪められ、バーチャルリアリティの「3次元の空間性」「実時間の相互作用性」「自己投射性」のうち、特に自己投射性が欠如している。具体的には、実空間で自分の手がある位置と異なる位置にバーチャル身体の手が提示されるため、自己受容感覚が一貫しないという問題が生じる。ラバーハンド錯覚 [2] のような自己受容感覚のドリフト現象がVR環境上でも起こることが報告されているが [33][27]、その効果は限定的である。さらに、視野分割による視野角の狭さも課題として挙げられる。ParaSights手法は、視野角を最大限に保ちながら自己投射性を維持した空間を提供し、VRシステムの質を向上させる可能性がある。

**オーバーレイで重ねて提示する手法** Schjerlundらは、複数の離れた視点をオーバーレイで重ねて提示するOVRlap[25]を提案した。体験者は、アクティブな視点のオブジェクトのみを操作でき、パッシブな視点のオブジェクトは半透明で視認できる。また、ジョイスティックを用いてアクティブな視点を切り替えられる。同手法は体験者の空間認識能力を向上させ、効率的なタスク遂行を支援している。しかし、視点切り替え操作の短縮によるタスク効率向上が今後の課題とされている。ParaSights手法は、視野闘争の特性を活かし、この課題を解決できる可能性がある。また、OVRlap手法では、パッシブな視点を青色の半透明状態で表示するため、環境内の色情報が失われる。一方、本研究では2つの視点の色情報をそのまま提示できるため、この課題を解決しているといえる。

### 3 ParaSights システム

ParaSightsは、HMDの2つのディスプレイにそれぞれ異なる視点を提示し、2つの空間を同時に体験する仕組みである(図2)。本手法は、左右の眼に異なる視点の映像を提示することで、2つの第一人称視点を体験者の左右の眼にそれぞれ対応させる。これにより、体験者は同時に提示された2つの視点に並行して没入し、インタラクションできる可能性がある。また、両眼視野闘争を活用し、2視点の見え方を体験者の意識に応じて制御する。

#### 3.1 ParaSights のインタラクション

ParaSightsシステムは、視野闘争の特性を活かして、視点変更の操作なしに2視点の見え方を無段階に変化させる。視点の切り替わり方を4つのパターンに分類し、それぞれの状態で自然な操作と視点の見え方を実現している(図3)。

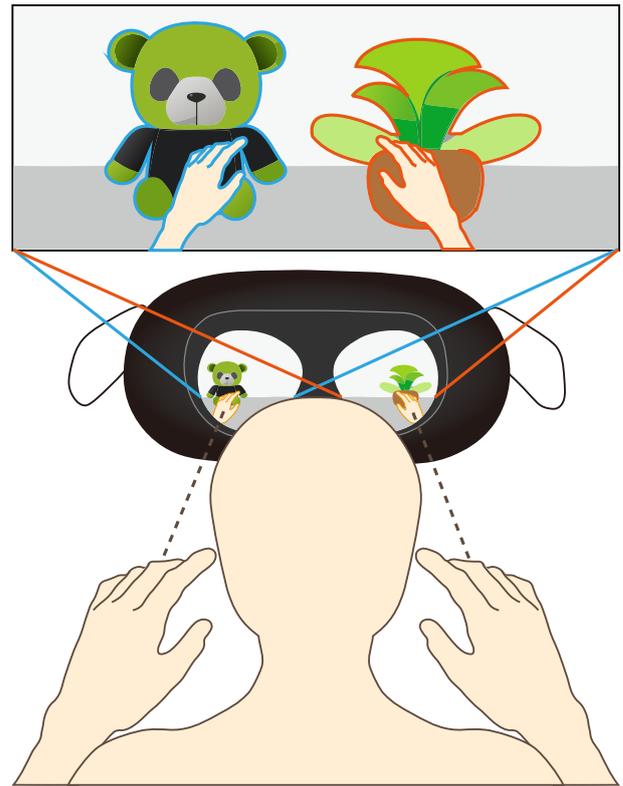


図 2. ParaSights のシステム実装イメージ。HMDの2つのディスプレイにそれぞれ異なる視点を提示する。異なる2視点を重ねるように配置し、Culling Maskで体験者の左眼、左手に片方の視点を、右目、右手にもう片方の視点を割り当てている。

**Skim (スキム)** Skimは、両眼の視界をぼんやりと眺めるインタラクションであり、このとき視野闘争の影響が最大となる。その結果、2つの視点の要素が大きく重なり合って視認される。左眼側の環境は左手で、右眼側の環境は右手で操作できる。環境音はそれぞれ対応した耳に届けている。

**Focus(フォーカス)** Focusは、どちらか片眼の環境にある特定のオブジェクトに集中するインタラクションである。本研究では、片方の手がもう一方の手より活発に動いている状態を、その環境に集中している状態とした。左右の手のハンドトラッキングにより、システムは各手に対応するオブジェクトの加速度を常時取得している。そのため、集中している側の手で活発にインタラクションしていることを検知できる。そこで、操作中の環境の明度とコントラストを高め、もう片方の環境の明度とコントラストを低くする。これにより、視野闘争において集中している環境が優位となり、視認されやすくなる。また、視野闘争によって見える像が意識に応じて切り替わり、意識したオブジェクトが浮き出るように視認される。環境音も同様に、意識が集中している側

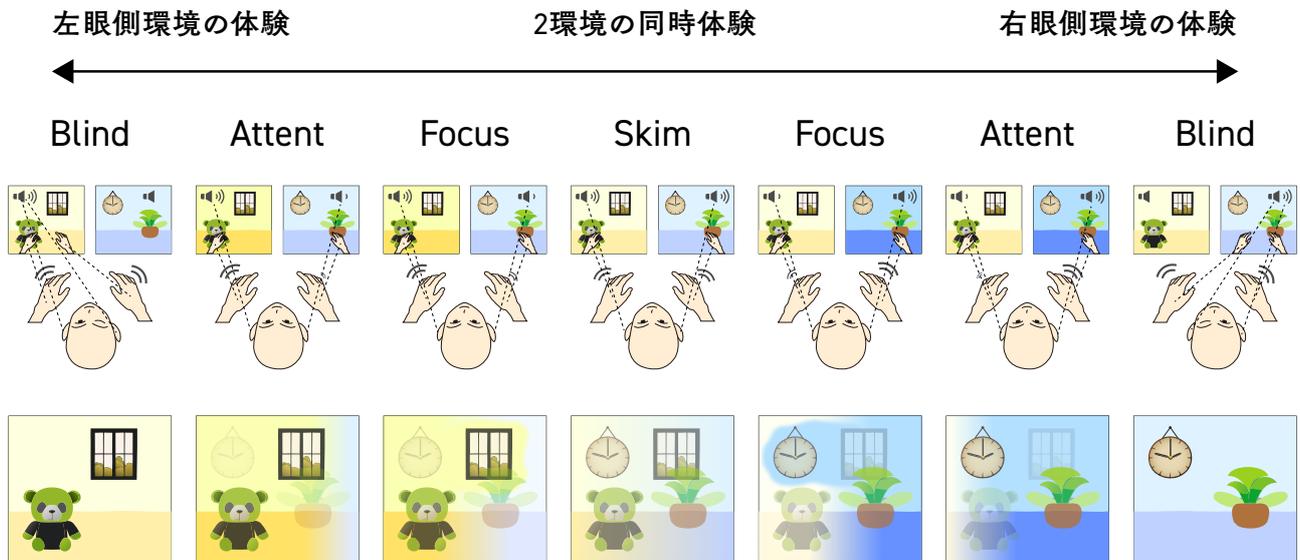


図 3. ParaSights によるインタラクションの仕組み. Blind は片目を瞑ってもう片方の環境に没入する. Attent と Focus は、片手を活発に動かす動作をトリガーに視野闘争が誘発され、片側環境を中心とした体験を提供する. Skim は 2 つの環境を完全に並行して体験する. (画像下側は見え方の再現)

は明瞭に、意識が薄い側は音量を低く調整している。

**Attent(アテント)** Attent は、どちらか片眼の環境全体に集中するインタラクションである。この場合、Focus 状態と同様に集中している側の環境の明度とコントラストを高める一方で、もう片方の環境の明度とコントラストを低くする。これにより、視野闘争の影響で意識している環境側の視野が広がったように視認される。また、環境音も集中している側を優先し、意識が薄い側の音量は小さくしている。

**Blind(ブラインド)** Blind は、片目を瞑ってもう片方の視界に完全に没入するインタラクションである。このとき、視野闘争の影響を受けることなく、片方の視点のみが明確に視認される。両手を視認されている環境で操作でき、環境音も視認されている環境のものを両耳に届ける。

### 3.2 ハードウェア/ソフトウェア実装

本手法の実装にあたり、HMD は Meta Quest Pro<sup>1</sup> を使用した。また、本手法およびサンプルアプリケーションの実装には Unity(2022.3.10f1)<sup>2</sup> を用いた。VR 環境の構築は Meta XR SDK(v68) および Oculus XR Plugin(v4.2) を使用した。実装においては、左右の眼に異なる視点を提供するため、OVR-CameraRig の Use Per Eye Cameras オプションに

より、Left EyeAnchor と RightEyeAnchor の 2 つのカメラを用いる手法を採用した。2 つのバーチャル環境を別々のレイヤー上に配置し、Culling Mask を使用して逆の眼に表示されるバーチャル環境の描画を無効化することで、Unity 上で独立した 2 視点の提示を擬似的に実現した。なお、近い地点の別視点を提示する場合は、それぞれを異なるバーチャル環境として提示し、環境内のオブジェクトの動きを同期して対応した。また、ステレオレンダリングモードについては各眼に対して個別に描画する必要があるため、Quest Pro 開発時のデフォルトである Multiview 方式ではなく、MultiPass 方式を採用した。

Focus, Attent モードにおけるコントラストおよび明度の調整について、BuildingBlock 機能の Virtual Hands で配置した OculusHand\_R(L) の現在位置をフレームごとに取得し、加速度を算出した。この加速度に基づき、左右の手における加速度差が一定以上となった際に、Post Processing Stack v2 の Post-process Volume 内 ColorGrading プロパティの contrast.value および postExposure.value によって画面のコントラストと明度を調整する。具体的には、それぞれの値を Mathf.Lerp 関数を用いて -75.0f から 100.0f、1.0f から -1.0f の範囲でスムーズさせた。Blind インタラクションについては、OVRFaceExpression を用いて EyeClosedR(L) の値を参照し、片方の目が閉じられている状態を検知する。この際、開いている側の視点に対応したレイヤーに両手のオブジェクトを移動させることで、両手を片方の環境において視認し操作できる。

<sup>1</sup> Meta Quest Pro

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

<sup>2</sup> Unity

<https://unity.com/ja>

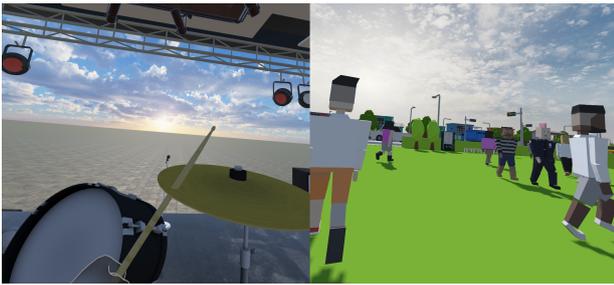


図 4. 試用に用いたサンプルアプリケーション。左眼側でドラムを叩く体験、右目側で周囲を歩き回る人型のキャラクターを観測する体験を提供している。

## 4 試用と体験

本章では、試用を通して、異なる2つの視点を同時に体験する際の見え方と視点の切り替わりについて調査した。具体的には、2視点を同時に知覚し並行して反応できるか、2視点の見え方を Skim, Focus, Attent, Blind のように変化させられるか、酷いVR酔いが発生しないか、および距離感を正確に掴めるかの4点を中心に検討した。

### 4.1 手順

試用に用いるサンプルアプリケーションとして、片方の環境でドラムを叩く体験、もう片方の環境で周囲を歩き回る人型キャラクターを観測するアプリケーションを用意した(図4)。本試用の体験者は、両眼立体視を利用したVRを体験したことのある大学生および大学院生(19~24歳)11名(うち男8名女3名)である。学科内で行われたデモ発表の参加者を対象に試用し、謝金は支払っていない。また、体験者全員に斜視特性は無かった。体験者には先入観が生じないよう事前に左眼と右眼に異なる視点を提示しているという最低限の情報のみを提供し、両眼視野闘争や複数環境とのインタラクションなど本研究のテーマとなる詳しい内容は伝えていない。体験者は2つの視点の見え方と切り替わりに関する非構造化インタビューに回答しながら体験を行った。

### 4.2 結果

試用の結果、11名全員が2つの視点を同時並行して視認できたと報告し、VR酔いの症状を訴える者はいなかった。特に、6名の体験者は、左右の眼に独立して提示された2つの視点が融合し、1つの場所に存在している感覚があると報告した。また、9名の体験者は、ドラムが配置された環境内で迷うことなくパチを持ち上げることができた。ただし、2名はパチの位置を把握するまでに時間がかかったが、一度掴んだ後は安定して持ち直すことができた。

見え方の切り替わりに関しては、7名の体験者がドラムを叩く動作を行っている際にドラムが鮮明に

見え、動作をやめると鮮明さが失われると報告した。さらに、5名の体験者が、人型キャラクターが視点の近くを通り過ぎるとその人型キャラクターの姿がはっきり見えると報告した。また、4名の体験者が視界の手前側にはドラムが、奥側には街の風景が見えやすいと感じたと述べた。

さらに、10分程度本手法を体験した3名のうち2名から、体験時間が5分を超えた頃から本手法に慣れ、体験開始時よりも視点の見え方を制御できるようになったとの報告があった。

### 4.3 考察

試用の結果は、ParaSights手法が両眼視野闘争によって、2つの異なる視点を同時に知覚できる可能性を示唆した。特に、11名全員がVR酔いを訴えなかった点から、自律神経に過度な負荷をかけることなく、複数の視点を提供できると考えられる。

6名の体験者が報告した「2つの視点が融合した1つの場所に存在している感覚」というフィードバックは、視野闘争によって生じる本手法の体験が、2つの場所に同時に存在する感覚を提供していないことを示唆している。一方で、両方の空間の要素を同時に視認できることから、Skimインタラクションが機能していると考えられる。

また、7名の体験者はドラムを叩く際にドラム周囲の視界が鮮明になったこと、5名の体験者が人型キャラクターが視点の近くを通り過ぎた際に人型キャラクターの周囲が鮮明に見えたことを報告した。この結果は、ParaSightsインタラクションの1つとして設定したFocusインタラクションが効果を発揮し、視野闘争による知覚の切り替わりが体験者の意図により一定程度制御可能である可能性を示唆した。

さらに、10分間の体験で視点の制御が容易になるという慣れの報告から、ParaSightsは使用時間が延びるにつれて操作性が向上する可能性がある。この点から、長時間の使用を前提としたタスクにおいてParaSightsが有効であることが期待されるが、長時間使用した際の疲労感や視覚的負担については今後の調査が必要である。

## 5 議論

本手法の特徴と試用の結果をもとに、本手法が活用できるアプリケーション例について議論する。

### 5.1 バーチャル環境内での3Dモデリング

3Dモデリングを行う際、1つの視点に固執してしまい、後から別の視点で見るとモデルが崩壊しているという場面や、引いて全体を見てみるとバランスが崩れているといった場面によく遭遇する。従来のデスクトップ環境でのモデリングソフトウェアでは、複数の方向から見た視点を画面分割して表示することで、そのようなミスを防いでいる。しかし、

バーチャル空間内での 3D モデリングでは、現状この課題に対する解決策はない。バーチャル空間内でモデリングを行えるソフトウェアとして、Blender の Freebird XR アドオン<sup>3</sup> や、Adobe Substance 3D Modeler<sup>4</sup>がある。これらのソフトウェアではオブジェクトの回転や視点の移動でオブジェクトを見回せるが、複数の視点を同時に見ることはできない。また、バーチャル環境内で建物などの大きなオブジェクトを作る際に建造物を回転させたり縮尺を変えて回り込む動作は好ましくない。本手法を用いれば、同時に複数の視点からオブジェクトを視認できるため、別角度や引きの視点から見た際に不整合なモデリングに瞬時に気が付き対応できる可能性がある。このように、VR 環境でオブジェクトを複数の視点から見ながら作業するシーンにおける活用が期待できる。その他にも、3D パズル、積み木のようなタスクにおいても活用できる可能性がある。

## 5.2 バーチャルリアリティ観戦 (VRS) の 2 窓視聴

スポーツ観戦では時折見逃せない瞬間がある。得点が決まった瞬間や重要なセットプレーが発生した瞬間など、どうしてもリアルタイムに観戦したい場面がある。しかし、オリンピックやワールドカップなどのイベントでは見逃せない複数の試合が同時に行われる場合も多い。こういった場合、テレビ配信などではいわゆる 2 窓視聴を行うことになる。しかし、バーチャルリアリティ観戦 (VRS) では通常 2 窓視聴ができない。VRS は新たなスポーツメディアとして注目されており、従来の 2D スクリーンよりも鮮明さ、インタラクティブ性、テレプレゼンスを介してフロー体験 (認知的没入, 楽しさ, および時間の歪みを伴う体験) を大きく増幅する [13]。提案手法は VRS において双方ともリアルタイムかつ第一人称視点で体感できる可能性がある。また、ライブやコンサートの VR 鑑賞においても活用できる可能性がある。このように、2 つの視点を常時観察しつつ、両方を見逃さないシーンへの活用が期待できる。このようなタスクは常時ひどく認知負荷を要するタスクではないため、複数視点を同時に観察しつつ、重要なシーンの見逃しを防げる可能性がある。

## 5.3 コミュニケーションのリアルタイム自己改善

普段のプレゼンテーションやコミュニケーションの場において、相手から見た自身の見え方が気になることがある。身振り手振りは適切か、緊張で挙動不審になっていないかなどが気になるが、リアルタイムに相手から見た自分を知ることはできない。本

手法はバーチャル環境においてこの課題を解決できる可能性がある。操作しているアバタと同時に第三者視点から見ている別のアバタにも没入することで、第三者視点から見た自身の見え方を確認できる。このように、自身をリアルタイムに客観視して改善するシーンにおいて活用できる可能性がある。

## 5.4 今後の課題と展望

### 視野闘争への慣れ

今回の試用において、ParaSights は使用時間が延びるにつれて徐々に視点の制御ができるようになる可能性を示唆した。しかし、試用時間は最大で 10 分程度であったため、それ以上の長時間使用時における視点制御の可能性は依然として不明である。著者自身は累計で数時間にわたる体験を行い、ParaSights の 4 つのインタラクションを全て体験できているため、長時間の使用によって本手法に対する慣れが進む可能性がある。このため、今後の研究では長時間の使用が視点制御に与える影響を検証する必要がある。

### 2 視点の独立ロコモーション

今回の試用では、2 つの視点を同時に視認できると報告された。しかし、両視点への独立したロコモーションは試みられなかった。もし左右の眼に独立して提示された 2 つの視点に対し、それぞれで移動操作が行われた場合、2 つの視点を別々の場所として知覚できる可能性がある。この仮説を検証するためには、左右の環境に対する独立したロコモーションを実装し、その効果を検証する必要がある。

### 斜視への適用

今回の試用では、斜視を持つ体験者は含まれていなかった。斜視は、片目が正面を向いている際にもう片方の目が異なる方向を向く状態であり、左右の視線が一致しない特徴を持つ。斜視の特性を持つ者は、正視者とは異なる視野闘争の特性を持つことが報告されている [26][28]。したがって、斜視を持つ人に対する本手法の効果を確認するためには、追検証が必要である。

## 6 まとめ

本稿では、両眼視野闘争を利用した空間提示手法である ParaSights を提案し、複数の空間と並行してインタラクションできるシステムを実現した。試用の結果、ParaSights が視点切り替えを不要にし、2 つの視点を同時に視認できることを示した。さらに、視野闘争による視点の切り替わりが、体験者の意図により一定程度制御可能であることを示唆した。今後は、2 視点の独立したロコモーションや長時間の連続使用についてさらなる検証を行い、より詳細な実験によって手法の有用性を確認していく。

<sup>3</sup> Freebird XR  
<https://freebirdxr.com/>

<sup>4</sup> Adobe Substance 3D Modeler  
<https://www.adobe.com/jp/products/substance3d-modeler>

## 参考文献

- [1] L. Aymerich-Franch, D. Petit, G. Ganesh, and A. Kheddar. The second me: Seeing the real body during humanoid robot embodiment produces an illusion of bi-location. *Conscious. Cogn.*, 46:99–109, Nov. 2016.
- [2] M. Botvinick and J. Cohen. Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391(6669):756, Feb. 1998.
- [3] B. B. Breese. Binocular rivalry. *Psychol. Rev.*, 16(6):410–415, Nov. 1909.
- [4] M. Fahle. Binocular rivalry: suppression depends on orientation and spatial frequency. *Vision Res.*, 22(7):787–800, Jan. 1982.
- [5] T. Furlanetto, C. Bertone, and C. Becchio. The bilocated mind: new perspectives on self-localization and self-identification. *Front. Hum. Neurosci.*, 7:71, Mar. 2013.
- [6] D. F. Glas, T. Kanda, H. Ishiguro, and N. Hagita. Teleoperation of Multiple Social Robots. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. A Syst. Hum.*, 42(3):530–544, May 2012.
- [7] K. Guo, Y. Shimomura, J. Hosoi, Y. Ban, and S. Warisawa. GUI presentation method based on binocular rivalry for non-overlay information recognition in visual scenes. In *Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2024*, New York, NY, USA, Apr. 2024. ACM.
- [8] A. Guterstam, D. E. O. Larsson, J. Szczotka, and H. H. Ehrsson. Duplication of the bodily self: a perceptual illusion of dual full-body ownership and dual self-location. *R. Soc. Open Sci.*, 7(12):201911, Dec. 2020.
- [9] I. T. Kaplan and W. Metlay. Light intensity and binocular rivalry. *J. Exp. Psychol.*, 67(1):22–26, Jan. 1964.
- [10] S. Kasahara, M. Ando, K. Suganuma, and J. Rekimoto. Parallel eyes: Exploring human capability and behaviors with paralleled first person view sharing. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, May 2016. ACM.
- [11] H. Kawasaki, H. Iizuka, S. Okamoto, H. Ando, and T. Maeda. Collaboration and skill transmission by first-person perspective view sharing system. In *19th International Symposium in Robot and Human Interactive Communication*, pp. 125–131. IEEE, Sept. 2010.
- [12] K. Kilteni, R. Groten, and M. Slater. The sense of Embodiment in virtual reality. *Presence (Camb.)*, 21(4):373–387, Nov. 2012.
- [13] D. Kim and Y. J. Ko. The impact of virtual reality (VR) technology on sport spectators' flow experience and satisfaction. *Comput. Human Behav.*, 93:346–356, Apr. 2019.
- [14] S. Kishore, X. N. Muncunill, P. Bourdin, K. Or-Berkers, D. Friedman, and M. Slater. Multi-destination beaming: Apparently being in three places at once through robotic and virtual embodiment. *Front. Robot. AI*, 3:217540, Nov. 2016.
- [15] J. J. Koenderink. Pictorial relief. *Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci.*, 356(1740):1071–1086, May 1998.
- [16] K. Kurosaki, H. Kawasaki, D. Kondo, H. Iizuka, H. Ando, and T. Maeda. Skill transmission for hand positioning task through view-sharing system. In *Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference*, New York, NY, USA, Mar. 2011. ACM.
- [17] L. C. Lack. Effects of knowledge of results and spacing of practice trials in training of control of binocular rivalry. *Percept. Mot. Skills*, 31(3):827–830, Dec. 1970.
- [18] R. Mitchell, C. S. B. Bravo, A. H. Skouby, and R. L. Möller. Blind running: Perceptual team interdependency for self-less play. In *Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, New York, NY, USA, Oct. 2015. ACM.
- [19] R. Miura, S. Kasahara, M. Kitazaki, A. Verhulst, M. Inami, and M. Sugimoto. MultiSoma: Motor and gaze analysis on distributed embodiment with synchronized behavior and perception. *Front. Comput. Sci.*, 4, May 2022.
- [20] T. J. Mueller and R. Blake. A fresh look at the temporal dynamics of binocular rivalry. *Biol. Cybern.*, 61(3):223–232, 1989.
- [21] E. Nakul, N. Orlando-Dessaints, B. Lenggenger, and C. Lopez. Measuring perceived self-location in virtual reality. *Sci. Rep.*, 10(1):6802, Apr. 2020.
- [22] Y. Ochiai. Kaleidoscopes for binocular rivalry. In *Proceedings of the 3rd Augmented Human International Conference*, New York, NY, USA, Mar. 2012. ACM.
- [23] R. Pan, S. Singhal, B. E. Riecke, E. Cramer, and C. Neustaedter. MyEyes: The design and evaluation of first person view video streaming for long-distance couples. In *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems*, New York, NY, USA, June 2017. ACM.
- [24] C. R. Ponce and R. T. Born. Stereopsis. *Curr. Biol.*, 18(18):R845–50, Sept. 2008.
- [25] J. Schjerlund, K. Hornbæk, and J. Bergström. OVRlap: Perceiving multiple locations simultaneously to improve interaction in VR. In *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, Apr. 2022. ACM.
- [26] C. M. Schor. Visual stimuli for strabismic suppression. *Perception*, 6(5):583–593, 1977.
- [27] M. Slater, D. Perez-Marcos, H. H. Ehrsson, and M. V. Sanchez-Vives. Towards a digital body: the virtual arm illusion. *Front. Hum. Neurosci.*, 2:6, Aug. 2008.
- [28] E. L. Smith, 3rd, D. M. Levi, R. E. Manny, R. S. Harwerth, and J. M. White. The relationship between binocular rivalry and strabis-

- mic suppression. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 26(1):80–87, Jan. 1985.
- [29] J. Sypniewski, S. B. Klingberg, J. Rybar, and R. Mitchell. Towards dynamic perspective exchange in physical games. In *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, Apr. 2018. ACM.
- [30] D. Vishwanath and P. B. Hibbard. Seeing in 3-d with just one eye: stereopsis without binocular vision: Stereopsis without binocular vision. *Psychol. Sci.*, 24(9):1673–1685, Sept. 2013.
- [31] C. Wheatstone. XVIII. Contributions to the physiology of vision. —Part the first. On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.*, 128(0):371–394, Dec. 1838.
- [32] B. Wissmath, D. Weibel, J. Schmutz, and F. W. Mast. Being present in more than one place at a time? Patterns of mental self-localization. *Conscious. Cogn.*, 20(4):1808–1815, Dec. 2011.
- [33] Y. Yuan and A. Steed. Is the rubber hand illusion induced by immersive virtual reality? In *2010 IEEE Virtual Reality Conference (VR)*, pp. 95–102. IEEE, Mar. 2010.
- [34] 館 暲, 佐藤 誠, 廣瀬 通孝. バーチャルリアリティ学. 工業調査会 / 日本バーチャルリアリティ学会 / コロナ社, 2011.
- [35] 水野文雄, 早坂智明, 山口隆美. バーチャルカメレオン: 任意の方向の独立した視野を両眼に呈示するシステムに関する基礎的研究 (教育工学・福祉工学・マルチメディア応用, 一般論文). 情報科学技術フォーラム講演論文集, 8(3):631–632, 08 2009.
- [36] 村本剛毅, 齊藤寛人, 脇坂崇平, 笠原俊一, 稲見昌彦. リアルタイムとスローモーションを共存させるインタフェース. 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 25th, pp. 2–7, 2020.