



深度ビデオスルー型 VR ヘッドセットにおける 撮影視点と観察視点の差が作業に及ぼす影響

大橋聖也¹⁾, 木島竜吾²⁾

Seiya OHASHI and Ryugo KIJIMA

1) 岐阜大学 自然科学技術研究科 (〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, gifu.ohashi@gmail.com)

2) 岐阜大学 工学部 (〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, kijima@gifu-u.ac.jp)

概要: ビデオスルー型 HMD (Head Mounted Display) においては、カメラの視点 (撮影視点) と装着者の眼球位置 (観察視点) を一致させる配慮は、時に鏡を使うなどして行われるが、これも広角な場合には実現困難である。本研究では深度カメラを用いて深度ビデオスルー型 HMD を構成し、被験者実験によりタスクパフォーマンスを指標として両者の視点深さの差の影響を調べた。影響は大きいことが、作業への慣れにより相当程度緩和されることを示した。

キーワード: ビデオスルー型 HMD, 深度カメラ, 作業効率

1. はじめに

1.1 ビデオスルー型 HMD における

撮影視点と観察視点

ビデオスルー型 HMD では一般に、ビデオカメラ (撮影視点) の方が装着者の視点 (観察視点) より前方にある (図 1)。この深さ方向の不一致により、自分の手先位置が裸眼の場合よりも近くに見えること、頭の向きを変えた際に回転軸がずれた感覚が生じることなど、裸眼とは異なる体験が生じる。従来は鏡を用いてカメラを折り返すことで、深さの不一致を解消ないし軽減する方法がとられてきたが、現在では深度カメラを用い実世界を 3 次元レンダリングすることで、この不一致度を自由に設定することができる [1]。本研究では、ビデオカメラの代わりに深度カメラを用いて深度ビデオスルー型 HMD を構成し、両視点の深さ方向の不一致が、手を使った作業性能に及ぼす影響を調べた [2], [3]。さらに作業習熟の影響も明らかにした。

2. 実験準備

2.1 深度ビデオスルー型 HMD の構成

RGB の色情報に加え、深度値 D が取得できる深度カメラ (インテル社 RealSense D435) と HMD (Meta 社 Rift

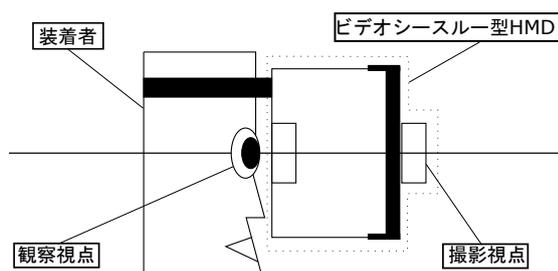


図 1: 深度ビデオスルー型 HMD における撮影視点と観察視点の不一致

DK2), およびゲームエンジン Unity を用いて撮影位置と観察位置のオフセットを変更できる深度ビデオスルー HMD を構成した。まず、HMD 前面の中央に撮影位置がくるように深度カメラを固定した (図 2)。得られた RGBD 値から Unity 上で 3 次元点群を生成し、これをレンダリングした。レンダリングに使ったカメラモデルの位置を原点とすれば、深度カメラから見た世界が得られるが、これはユーザの両眼の中心前方から見た世界である。両眼間隔を考慮して左右にカメラモデルをオフセットさせるとともに、その位置を適切な量引けば、(仮想的な) 撮影位置は観察位置に一致する。観察位置は Unity 上でレンダリングに使うカメラ位置であり、HMD・深度カメラの大きさを測ることで、被験者の視点は深度カメラから約 11[cm] 引いた位置にあると推定した (図 3)。

また、深度カメラが捉えた実空間の映像を仮想空間内における視点の修正距離を変更してレンダリングすることで視点位置の差を修正することを試みた (図 4)。

2.2 実験外観

被験者実験を行った環境の外観を図 5 に示す。被験者の頭部の動きを制限するために顎台を設置し、そこから被験者の両手が届く範囲に作業するための物体を用意した。



図 2: 製作した深度ビデオスルー型 HMD: 正面図 (左) と右面図 (右)

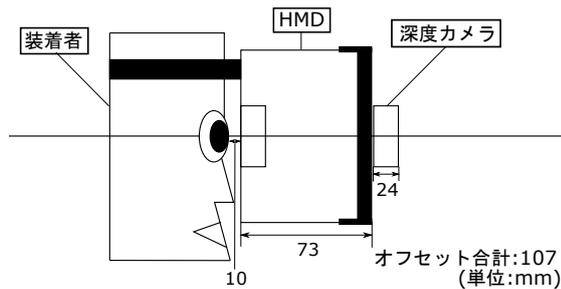


図 3: 制作した深度ビデオスルー型 HMD の視点位置の差

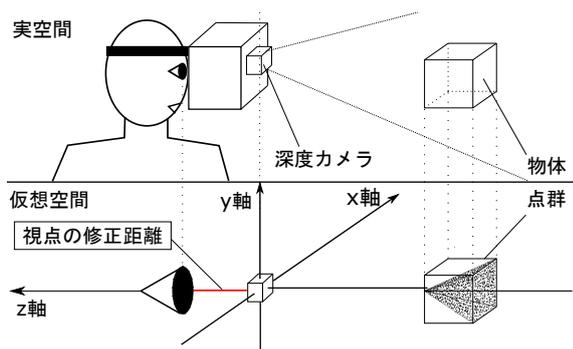


図 4: 実空間と仮想空間の対応関係



図 5: 実験環境の外観

2.3 実験作業内容

実験の対象作業は、ジェンガ（木片組み立て）と 3D ポインティングとした。パフォーマンスの指標は前者は作業完了までの時間、後者は作業精度である。

作業時間を計測する実験では、手作業で行うことができる、作業完了までにある程度の時間を要する、この 2 つの条件からジェンガを用いた。ジェンガとは、水平に並べた 3 本の直方体の木片を、その向きが直交するよう層状に積み上げ、それを崩さずに中の木片を抜き取り、上に積み上げる作業である。被験者は合図を受けて作業を始め、指定された 3 つの木片を積み上げて作業を完了とし、実験者が作業にかかった時間を計測した。作業時間が短いほどパフォーマンスが高いと評価した。

作業精度を計測する実験では、3D ポインティングによる正誤判定ができ、且つ実装が容易であることからキーボー

ド打鍵を用いた。キーボードの打鍵範囲は幅 45[cm]、奥行き 14[cm] であり、被験者の視点から前方に約 45~50[cm] の範囲に設置した。被験者は視野外の位置に手を置き、指示に従って右手の人差し指で打鍵すべきキーを打鍵することが求められた。各試行について、キーが指示されてからなんらかの打鍵が行われるまでの時間と、正しいキーが押されたかどうかを記録したが、この実験では主に正答率とその推移に注目して評価した。正答率が高いほどパフォーマンスが高いと評価した。

実際に使用した道具を図 6 に示す。

2.4 予備実験概要

以下では、撮影位置と観察位置のオフセットの妥当性を予備実験により検証する。視点位置が本来の視点に一致した場合に作業パフォーマンスが最大になるとの仮定に基づき、深さ方向の視点位置の修正量を変化させて実験を行い、作業パフォーマンスを評価することで適切な視点位置を推定した。事前に、修正距離：11[cm] が適切であると予想していたため、裸眼の場合と修正距離：0, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 30[cm] における作業時間と作業精度の評価を行う実験から作業パフォーマンスを調べた。

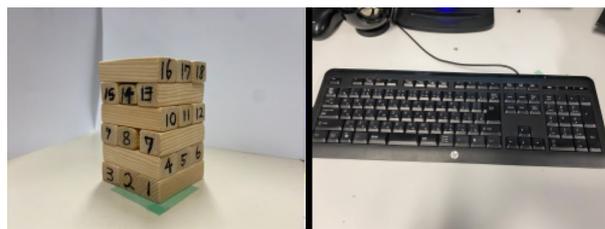


図 6: 実際に使用したジェンガ (左) とキーボード (右)

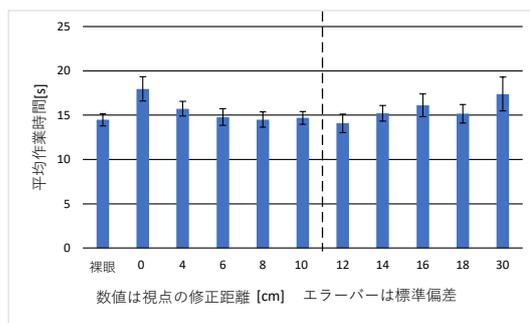


図 7: 作業時間を評価するための平均作業時間のグラフ

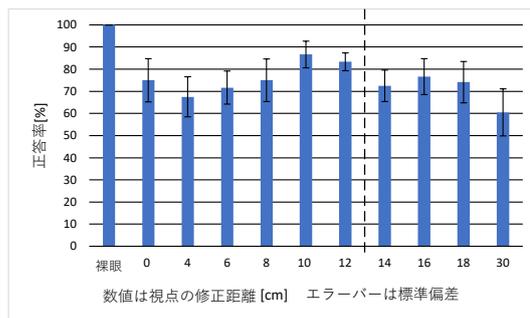


図 8: 作業精度を評価するための 3D ポインティングによる正答率のグラフ

2.4.1 予備実験結果

作業パフォーマンスを評価したグラフを図7, 8に示す。その結果, 修正距離:11[cm]周辺の値のパフォーマンスが最も高く, 修正距離:0, 30[cm]におけるパフォーマンスが他の項目に比べて低かった。このことから, 修正距離:11[cm]は妥当な視点位置にするために適切であると判断した。

3. 実験

3.1 視点修正量

次の各実験では, 裸眼時と視点の修正量が0(撮影視点と観察視点よりも前), 11(撮影視点と観察視点が一致), 30(撮影視点と観察視点よりも後ろ) [cm]の4項目についてそれぞれ作業パフォーマンスを調べた。各項目において, 距離感や視野の広さが違うため, 各項目における作業空間の視野を図9示す。

3.2 作業習熟について

予備実験の結果から, 作業習熟が作業に及ぼす影響が大きいことが分かった。作業習熟とは, 作業に慣れ, 熟達することで作業パフォーマンスが向上することである。そこで, 作業習熟時に発生する慣れを以下の2つに分類して考える。

1. 作業慣れ
2. 環境慣れ

1は, 作業を繰り返すことによって発生する慣れで, 作業の内容を把握することで作業効率上がる。そのため, 作業内容が同じである場合, 試行毎に作業慣れによる作業習熟を無視することができない。

2は, HMD特有の環境に対する慣れで, 自身の手や物体との距離感を把握することで作業効率上がる。これは, 作業慣れと違い試行毎に修正距離を変更することで, 極力無視することができる。

そこで, 次に示す実験において, この環境慣れによる作業習熟の有無による作業パフォーマンスの変化を調べた。

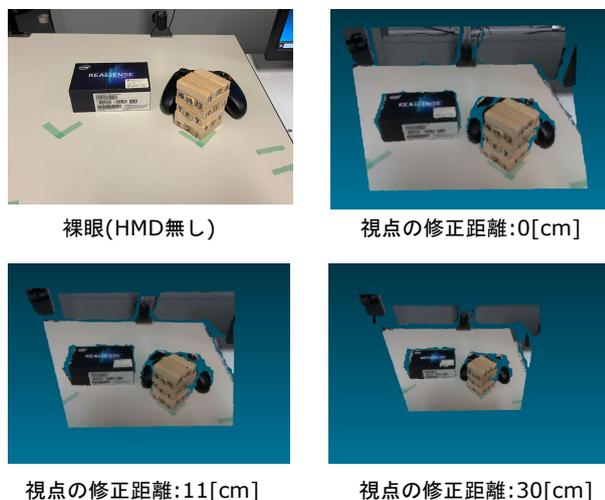


図9: 各項目における作業空間の視野

3.3 レイテンシの計測

ビデオスルー型HMDはカメラの映像をコンピュータで処理した後にディスプレイに映すため, レイテンシが発生する。そのレイテンシにより, HMD装着者のVR酔いを誘発し作業への影響が出る可能性がある。本研究の実験において, 被験者の酔いによる作業への影響は考慮したくない。そこで, ハイスピードカメラを用いてレイテンシの測定を行い, レイテンシが60[ms]程度であることが示された。これは, Meta社が公開しているベストプラクティスにおける指標の20[ms]を超える値であり, 頭部回転時に影響が出る恐れがあった。そのため, 顎台を用意し, 被験者の頭部の動きを制限して実験を行った。

3.4 ジェンガを用いた作業時間評価

ジェンガを用いた手作業により被験者実験を行い, 作業時間を計測し, 作業パフォーマンスを評価した。結果を図10, 11に示す。習熟無しの実験において, 全ての組み合わせで有意差が見られた。

3.5 3Dポインティングを用いた正答率評価

キーボードを用いた3Dポインティングにより被験者実験を行い, その正答率から作業精度を計測し, 作業パフォーマンスを評価した。結果を図12, 13に示す。習熟無しの実験において, 全ての組み合わせで有意差が見られた。

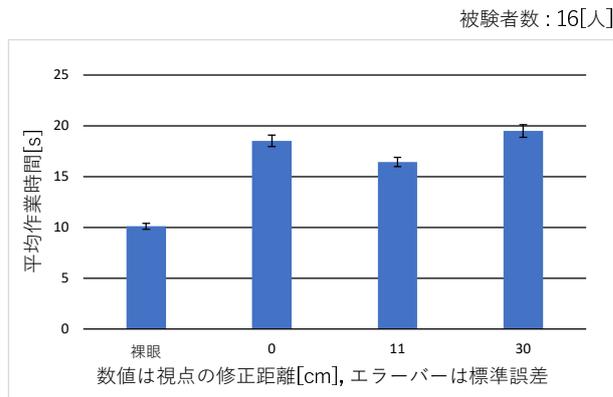


図10: 習熟無しにおける平均作業時間を表したグラフ

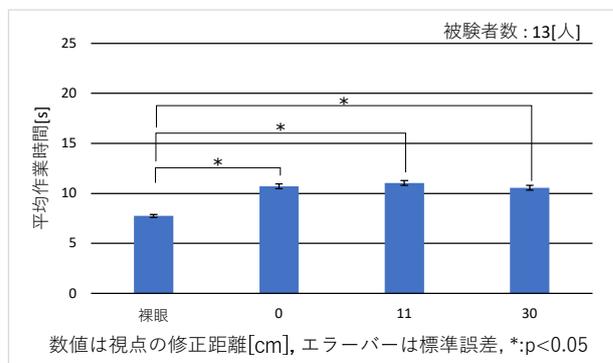


図11: 習熟有りににおける平均作業時間を表したグラフ

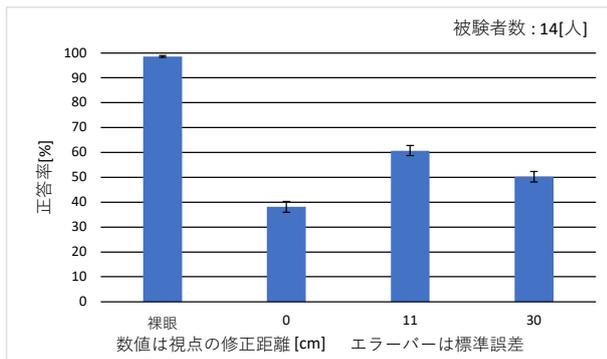


図 12: 習熟無しにおけるポインティングの正答率を表したグラフ

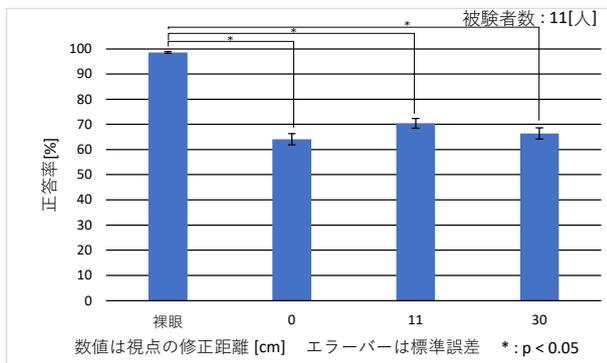


図 13: 習熟有りににおけるポインティングの正答率を表したグラフ

4. 結論

深度ビデオシースルー型 HMD における撮影視点と観察視点の不一致から生じる視点位置の差が作業に及ぼす影響を被験者実験を通して調べた。環境慣れによる作業習熟を

考慮しないときは、視点位置の差が作業パフォーマンスに及ぼす影響が大きい。しかし、環境慣れが起こり十分作業に習熟したとき、視点位置の差が作業パフォーマンスに及ぼす影響は小さくなることが分かった。そして、視点位置の差を小さくするための妥当な視点位置に修正した場合は、そうでない場合に比べて作業パフォーマンスが向上した。また、環境慣れによる作業習熟によって視点位置が妥当でない場合においても視点位置が妥当である場合と同程度の作業パフォーマンスになることが分かった。

これより、作業習熟の影響が小さい作業開始直後においては、妥当な視点位置によって作業の低下を防ぐことができると言える。しかし、十分作業習熟した状態で作業を行う場合、視点位置の差が作業に及ぼす影響が非常に小さいため視点位置が妥当でなくとも良いと言える。

また、解像度やレイテンシの影響、視点位置の差によって回転軸が遠くなることから生じる視点移動の大きさが作業に及ぼす影響の程度それぞれ明らかにすることができれば、深度ビデオシースルー型 HMD を用いた作業における更なる作業パフォーマンスの向上が期待できる。

参考文献

- [1] 谷口智生, 中泉文孝, 井上雄紀: 深度センサを用いた鏡面検出手法の提案, 日本バーチャルリアリティ学会大会第 25 回大会論文集, 2B3-6, 2020.
- [2] 箕浦弘人, 高木博康: ビデオシースルー HMD の撮像系と表示系の不整合が及ぼす手作業への影響, 日本バーチャルリアリティ学会第 23 回大会論文集, 13D- 3, 2018.
- [3] Ky Waegel: A reconstructive see-through display, 2014 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR) 2014.