

VR/MR 空間におけるフットジェスチャを用いた 3D インタラクション手法 (3) - ドラッグ&ドロップ操作における操作特性分析 -

黒瀬佳那[†] 橋口哲志[‡] 柴田史久[†] 木村朝子[†]

立命館大学大学院 情報理工学研究科[†]

立命館大学 立命館グローバル・イノベーション研究機構[‡]

1. はじめに

人工現実感 (Virtual Reality; VR) では、バーチャル空間を活用した作業が可能となり、その操作に対応した多様な UI 設計が必要となった。身体動作を入力方法とした研究では、ハンドジェスチャが多く検討されているが、手は他の動作に利用されている状況も考えられる。一方で、足の動き (以降、フットジェスチャ) を用いて入力を行う研究も登場しており、それらはハンズフリーで利用でき、動作の自由度も高いという利点がある[1]。

そこで我々は、VR/MR 空間におけるオブジェクトのドラッグ&ドロップ操作を対象とし、フットジェスチャを用いた操作手法を検討する。本研究では2種類のフットジェスチャを割り当て、カーソルが目的位置に到達するまでの操作特性を分析した。先行研究[2]と同様の条件で行った予備調査では、手法ごとに異なる軌跡や減速挙動の傾向が確認された。一方で、タスク条件によって操作対象オブジェクトの生成距離が一定でなく、この違いが軌跡や挙動に影響している可能性が示唆された。そのため本研究では生成距離を統一し、改めて計測・分析を行った。

2. インタフェースの設計

VR/MR 空間におけるドラッグ&ドロップに必要な操作として以下の4種類が考えられる。

1. 水平方向の操作
2. 鉛直方向の操作
3. 奥行き方向の操作
4. 決定の操作

本研究では1~3の3方向の操作について先行研究[2]で高い評価を得た2手法を採用し(図1)、同様に4の決定の操作に「背屈」を割り当てた。HMD (VIVE XR Elite) を用いてVR空間を体験

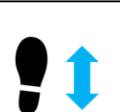
	水平方向	鉛直方向	奥行き方向
手法1	 内転・外転	 背屈・底屈	 前後スライド
手法2	 左右スライド	 前後スライド	 背屈・底屈

図1 操作とフットジェスチャの組み合わせ



図2 システム構成と入力姿勢

し、両足の位置・姿勢の検出には VIVE Ultimate Tracker を使用する。操作姿勢は座位で実施し、右足で3方向の操作を行い、左足で決定の操作を行う(図2)。先行研究[2]に示す方法でポインティングやフットジェスチャからカーソル位置への変換を行う。

3. 実験

【実験内容】本実験では、オブジェクトをドラッグ&ドロップする際に、カーソルが目標位置に到達するまでの操作特性を分析することを目的とする。そこで、任意の位置に提示されたオブジェクトを、指定された目標位置へドラッグ&ドロップさせるタスクを実施した。

タスク設計にあたっては、Yuら[3]のVR空間における視線および手入力を用いた3Dオブジェクト操作タスクを参考にした。具体的には、目標位置を視点から距離1mの位置に設定し、視野

Analysis of 3D Interaction Using Foot Gestures in VR/MR (3)
- Analysis of Interaction Characteristics in Drag-and-Drop Operations -

[†] Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

[‡] Ritsumeikan Global Innovation Research Organization, Ritsumeikan University

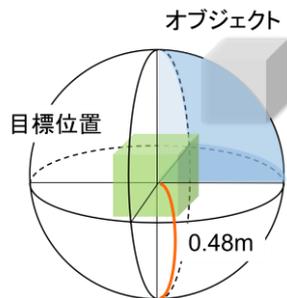


図3 オブジェクトの生成位置

角 30°以内でランダムに提示した。これにより、オブジェクトを掴んでから目標位置を探索する時間を計測データから除外した。実験参加者は、提示されたオブジェクトを掴み、目標位置との誤差が 0.025 m 以内に配置することでタスク完了とした。

操作対象オブジェクトは、目標位置を基準として 3次元空間を $x \cdot y \cdot z$ 軸で分割した 8象限のうち、1象限をランダムに選択し、その象限内で目標位置から指定距離だけ離れた位置に生成した(図3)。指定距離は、先行研究[2]と同条件で実施した予備調査を参考に、0.48 m とした。

実験参加者は4名(うち女性1名)であった。各参加者は、フットジェスチャ2手法およびコントローラの計3手法について、8条件(生成される象限)×2回の計16試行を行った。入力手法の実施順序は、ラテン方格法を用いてカウンターバランスをとった。各試行において、オブジェクトと目標位置との距離の時系列データを取得し、操作過程の分析に用いた。

【実験結果】図4は、操作対象オブジェクトの生成範囲および手法ごとに、全参加者の軌跡を平均化した結果を示す代表例である。横軸は経過時間を0~100%に正規化した値を表し、縦軸はオブジェクトと目標位置との距離を表す。また、タスク完了条件となる0.025 m(以降、許容誤差)を示す基準線を付加した。

いずれの手法においても、経過時間が約40%に達する頃に境に減速が確認された。コントローラでは、経過時間の60%前後で許容誤差内に到達したのに対し、フットジェスチャでは減速後も距離の揺らぎが継続した。その結果、フットジェスチャでは、操作時間全体の90%を超えてから許容誤差内に収束する傾向が確認された。

【考察】操作時間全体を通して、フットジェスチャでは出力に距離の揺らぎが継続的に生じていた。これは、足による操作が手に比べて運動制御の自由度や精度が低く、安定した入力を維持しにくいことに起因すると考えられる。

また、減速している時間割合は、フットジェ

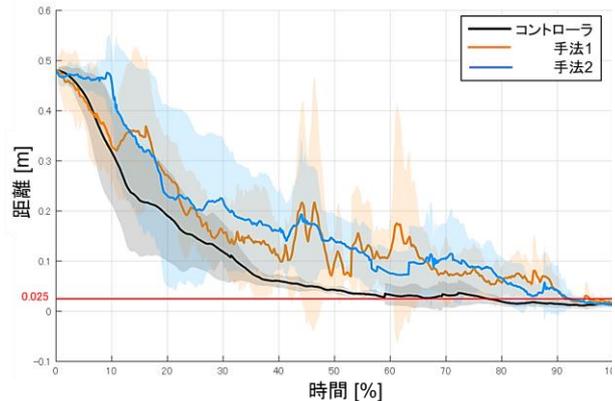


図2 左・下・奥象限に生成した際の軌跡(全参加者の平均および標準偏差)

スチャおよびコントローラのいずれの手法においても約60%であった。一方で、許容誤差近傍に滞在した時間割合は、コントローラでは約40%であったのに対し、フットジェスチャでは約10%と小さかった。このことから、フットジェスチャでは、許容誤差内に到達するまでに要する時間の割合が大きいことが示される。

すなわち、フットジェスチャでは、目標位置の許容誤差内に到達するまで、操作に時間を要する傾向が確認された。以上の結果より、フットジェスチャによる操作では、入力安定化を目的とした補正処理に加え、タスク特性に応じた許容誤差の設定が、操作性能に大きく影響する可能性が示唆される。

4. まとめ

本研究では、VR/MR空間におけるオブジェクトのドラッグ&ドロップ操作を対象に、フットジェスチャを用いた操作特性を分析した。生成距離を統一した条件下で距離の時系列変化を比較した結果、フットジェスチャでは目標位置の許容誤差内に到達するまでに操作時間を要する傾向が確認された。これより、フットジェスチャによる操作性能の向上には、入力安定化処理およびタスク特性に応じた許容誤差設計が重要であることが示唆された。

参考文献

- [1] 市川佑, 他: “奥行きセンサを用いた膝の動きによるカーソル操作手法”, 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol. 2019, No. 1, pp. 271 - 272, 2019.
- [2] 樋口雄大, 他: “VR/MR空間におけるフットジェスチャを用いた3Dインタラクション手法の分析・考察”, HI学会論文誌, Vol. 27, No. 4, pp. 302 - 312, 2025.
- [3] D. Yu et al., “Gaze-Supported 3D Object Manipulation in Virtual Reality.,” Proc. CHI '21, Article 734, pp. 1 - 13, 2021.