

VR/MR 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(2) - 選択操作におけるフィッツの法則の適用性評価 -

坂口達哉[†] 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

近年、VR/MR 技術の発展により、三次元空間を用いた直感的な操作手法として、身体動作を入力とするインタフェースが注目されている[1]. その中でも、足の動作を入力として利用するフットジェスチャは、ハンズフリーで操作可能な点から有望な手法とされている.

これまでに、VR/MR 空間におけるフットジェスチャを用いた選択操作やドラッグ&ドロップ操作について、複数手法の比較評価が行われてきた[2]. また、選択操作の性能評価にフィッツの法則を適用した研究も報告されている. しかし、フットジェスチャ操作において、フィッツの法則がどの条件まで成立するかについては十分に検討されていない.

そこで本研究では、VR 空間におけるフットジェスチャを用いた選択操作を対象とし、先行研究においてユーザ評価が高かった2種類の手法に着目する. ターゲットサイズ条件を段階的に変化したポインティングタスクを通じて、フィッツの法則が成立する条件を明らかにする.

2. フットジェスチャによる操作

本研究で用いたシステム構成は、先行研究と同様である. 実験参加者は HMD (VIVE XR Elite) を装着し、視線方向に基づいて仮想空間内にレイを表示する. 足の動作はトラッキングデバイス (VIVE Ultimate Tracker) を用いて取得し、取得された動作情報に基づいてポインティング操作および選択操作を行う.

先行研究では、選択タスクにおいてユーザ評価が高かった2種類のフットジェスチャ手法が示されている. 本稿では、足の回転動作を用いる手法を手法 1、足の平行移動動作を用いる手法を

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

図1 操作とフットジェスチャの組み合わせ

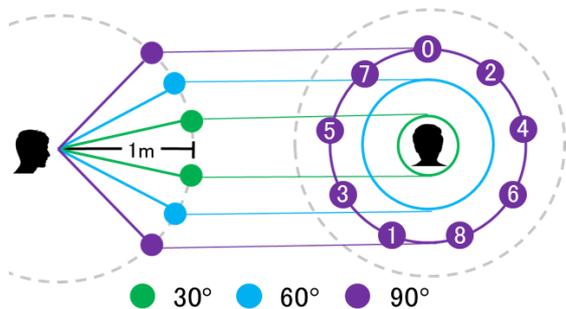


図2 ターゲットの配置

手法 2 として採用する. 手法 1 では内転・外転および背屈・底屈により、手法 2 では左右および前後方向へのスライドにより、レイの水平方向および鉛直方向を操作する (図 1). いずれの手法においても、視線方向に基づくレイを用いてターゲットの選択を行う.

3. 実験

【実験内容】本実験では、VR 空間における選択操作を対象としたポインティングタスクを実施する. 実験参加者は視点位置から発射されるレイを用いて操作を行う. Monteiro ら[3]のタスクを参考に、図 2 に示すように、視点から 1 m の距離に 9 個の球状ターゲットを円環状に配置した.

先行研究では、事前調査により選択可能と判断された 64 mm 以上のターゲットサイズを対象としていたのに対し、本研究ではより小さいターゲットサイズ条件を段階的に追加し、フットジェスチャ操作における選択性能およびフィッツの法則の適用範囲を詳細に評価する.

Analysis of 3D Interaction Using Foot Gestures in VR/MR (2)
- Evaluating the Applicability of Fitts's Law in Target Selection -

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

[‡]Ritsumeikan Global Innovation Research Organization, Ritsumeikan University

ターゲットサイズは 15, 20, 27, 36, 48, 64 mm の 6 段階, ターゲット間の角度距離は 30° , 60° , 90° の 3 段階とした (図 2). 各試行では, 円環上に配置されたターゲットのうち, 指定された順序に従って選択を行わせた. 本実験には 21 歳から 25 歳 (平均 23.0 歳, 標準偏差 0.9 歳) の男性 21 名, 女性 3 名が参加した.

【回帰直線の結果】 選択操作の性能評価にはフィッツの法則を用い, ターゲットまでの距離と大きさから算出される難易度指標を ID, ターゲット選択に要する時間を MT と定義する. 本研究では, フィッツの法則の適用性を評価するため, ID と MT の線形関係の成立度合いに着目し, その指標として決定係数 R^2 を用いる. なお, $R^2 > 0.900$ を, ID と MT の間に十分な線形関係が成立していると判断する基準とする.

実験結果から得られた ID と MT の関係について回帰分析を行い, 手法 1 および手法 2 の回帰直線をそれぞれ図 3 および図 4 に示す. 全条件を含めた場合の決定係数 R^2 は, コントローラ操作で 0.894, 手法 1 で 0.805, 手法 2 で 0.819 であった. さらに, 各入力手法において, ターゲットサイズ条件を小さい順に段階的に除外した場合の決定係数 R^2 を算出した.

コントローラ操作では, 15 mm および 20 mm 条件を除外した場合に初めて $R^2 > 0.900$ を満たし ($R^2 = 0.959$), フィッツの法則に基づく線形関係が成立した. 手法 1 では, 15, 20 mm 条件を除外しても基準を満たさなかったが, 15, 20, 27 mm 条件を除外した場合に初めて $R^2 > 0.900$ を満たし ($R^2 = 0.913$), フィッツの法則の成立が確認された. 一方, 手法 2 では, ターゲットサイズ条件を段階的に除外しても $R^2 > 0.900$ を満たす条件は確認されなかった.

【考察】 入力手法によって必要とされる最小ターゲットサイズが異なった要因として, 操作に用いる身体部位の分解能および姿勢安定性の違いが影響していると考えられる.

コントローラ操作では, 手指による高い操作分解能と安定した姿勢制御が可能であるため, 小さいターゲットサイズにおいても操作時間のばらつきが抑えられ, ID と MT の線形関係が維持されやすかったと考えられる. 手法 1 では, 足の回転動作を用いることで関節可動域が大きくなり, 手指操作と比較して位置制御の分解能が低下する. このため, 小さいターゲットサイズでは操作時間のばらつきが増加しやすかったと推察される. 一方, 手法 2 では, 足の平行移動動作に伴い身体全体のバランス調整が必要となるため, 支持脚の影響や姿勢変動が生じやす

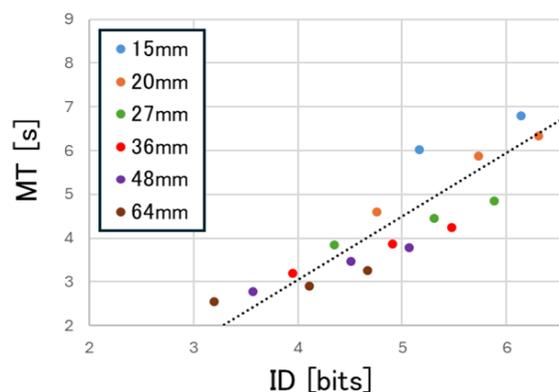


図 3 手法 1 の回帰直線

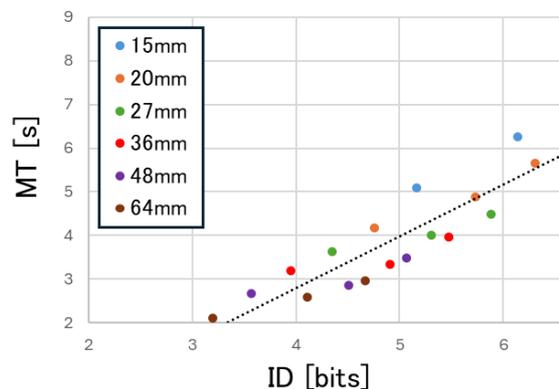


図 4 手法 2 の回帰直線

く, 操作時間のばらつきが十分に低減されなかったと考えられる.

4. まとめ

本研究では, VR 空間におけるフットジェスチャを用いた選択操作を対象として, フィッツの法則の適用性を評価した. その結果, フィッツの法則が成立する最小ターゲットサイズは入力手法によって異なり, コントローラ操作および足の回転動作を用いた手法では一定条件下で線形関係が成立する一方, 足の平行移動動作を用いた手法では成立しないことが示された.

今後の課題として, 誤選択率や主観的負荷などの指標を併用し, フットジェスチャ操作の特性をより包括的に評価する必要がある.

参考文献

- [1] T. Wan et al.: "Exploration of Foot-based Text Entry Techniques for Virtual Reality Environments," Proc. CHI, pp. 1 - 17, 2024
- [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", ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 27, No. 4, pp. 302 - 312, 2025.
- [3] P. Monteiro et al.: "Evaluation of Hands-Free VR Interaction Methods During a Fitts' Task: Efficiency and Effectiveness," in IEEE Access, vol. 11, pp. 70898 - 70911, 2023.