

VR 環境内でのスマートフォン UI 操作のための間接タッチジェスチャ

和田 優斗* 崔 明根† 志築 文太郎†

概要. 仮想現実 (VR) 環境内にて, スマートフォンの UI を操作するために設計された間接タッチジェスチャを示す. 近年, ヘッドマウントディスプレイを装着した状態にて, VR 空間にミラーされたスマートフォン用アプリケーションを利用する需要が高まっている. この際, 入力面および出力面が分離されたタッチである間接タッチを用いることにより, 視覚的注意を VR コンテンツに向けたままスマートフォン操作を行える. しかし, 実際のスマートフォン UI 操作に求められる多様なジェスチャへの間接タッチの拡張は十分に検討されていない. そこで我々は, ポインタ操作およびタッチアップジェスチャを取り入れた新たな間接タッチジェスチャを定義するとともに, このジェスチャを組み込んだシステムを実装した. これにより, ユーザはスマートフォンへの間接タッチを介した UI 操作を行うことが可能となる.

1 はじめに

ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を装着した状態にて仮想現実 (VR) 空間にミラーされたスマートフォン画面を操作できると, VR 環境にて多数のスマートフォン用アプリケーションが利用可能となるため便利である. このための技術として, Apple Vision Pro の AirPlay レシーバ機能 [2] および VR 用アプリケーションの Immersed [7] が実用化されているほか, 先行研究ではこれらの技術上での UI 操作を改善するための調査が行われてきた [16, 15, 4].

本研究では, 間接タッチを用いた VR 環境内でのスマートフォン UI 操作に注目する. 間接タッチとは, 指をタッチする画面 (入力面) が, コンテンツが表示される画面 (出力面) と分離されたタッチを指す. 間接タッチを用いる利点として, 1) 入力面を視認する必要がないため, 視覚的注意を VR コンテンツに向けたままスマートフォン操作を行える, 2) 操作を行うために腕を持ち上げたり, HMD を装着したまま手元を見たりする必要がなく, 身体的負荷が軽減される, 3) スマートフォンのトラッキングが不要となる, という点が挙げられる [1, 10, 5]. しかしながら, スマートフォンを対象とした間接タッチの適用範囲はポインティングに限定されており [10], 実際のスマートフォン UI 操作に求められる多様なジェスチャへの拡張は十分に検討されていない.

そこで我々は, スマートフォン UI 操作のための間接タッチジェスチャを設計するとともに, このジェスチャを組み込んだシステムを実装した (図 1). 本稿ではこの設計および実装を報告する.

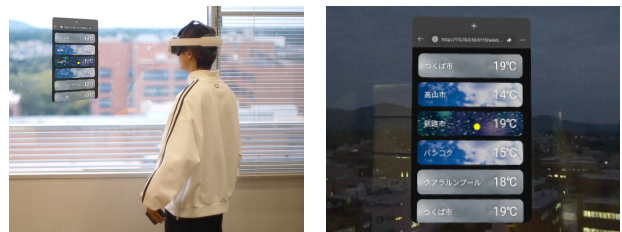


図 1. 実装したシステム. ユーザは VR 空間に表示されたスマートフォンの画面を見ながら, 現実空間のスマートフォンに間接タッチして UI 操作を行う.

2 関連研究

間接タッチは, 従来よりトラックパッド等の操作に利用されてきたほか, 近年では, VR 環境におけるポインティング [5, 10] およびオブジェクト操作 [1, 9, 8] に活用されている. Kyian ら [10] は VR 環境内でのスマートフォンに対するポインティングに間接タッチを適用して, その性能を評価した. 本研究では, 間接タッチをスマートフォン UI 操作に適用する.

VR 環境内でのスマートフォンの利用を目的としたポインティング手法 [14, 11] および UI 操作手法 [16, 15, 4] が検討されている. PhoneInVR [16] では, VR 環境におけるスマートフォンの空間アンカリング手法が調査された. これらの手法が入出力面が同一となる直接タッチを採用する一方, 我々は間接タッチを取り入れたジェスチャを設計する.

加えて, ポインティング [12] およびタッチジェスチャ [13] の性質が調査されている. 我々はこれらを参考にしてジェスチャの判別ロジックを設計した.

3 システム

スマートフォン UI 操作のための間接タッチジェスチャを組み込んだシステムを実装した. 本システムにより, ユーザはスマートフォンへの間接タッチによる UI 操作を行うことができる.

表 1. 対象とするジェスチャおよびユーザが行う指の動作の組み合わせ

対象とするジェスチャ	ユーザが行う指の動作
タップ (ポインティング)	タッチダウンした後、指をスライドさせてポインタを移動させる。タッチアップにて選択を確定する。
ダブルタップ	タッチダウン、タッチアップ、タッチダウンを素早く行う。その後「タップ」と同じ操作を行う。
ロングタップ	「タップ」と同様の動作を行うが、タッチアップ前に一定時間以上滞留する。
スワイプ (スクロール)	指を素早く払う (フリック)。
ドラッグ	「ロングタップ」によりドラッグ対象を選択する。その後、指を移動させて対象を移動させた後、タッチアップによって移動を確定する。
ピンチイン, アウト	通常と同様に、2 本指でタッチダウンした後、指の間隔を広げるまたは狭める。

3.1 システム構成

本システムは、スマートフォン (iPhone 14), HMD (Meta Quest 3), および PC から構成される。スマートフォン/HMD 用アプリケーションは、TypeScript および React を用いた共通の Web アプリケーションとして実装される。スマートフォンおよび HMD は、PC 上にて作動する WebSocket サーバを介してイベントを同期しながら、同一の画面を描画する。

3.2 ジェスチャの設計および判別

スマートフォンの UI 操作に用いられる基本的なジェスチャとして、表 1 に示す 6 つのジェスチャを定義した。本ジェスチャを用いたアプリケーションの操作例を図 2 に示す。対象ジェスチャには、iOS, Android 用に定義されるスマートフォン UI 用のガイドラインである Human Interface Guidelines [3], Material Design 3 [6] に共通するものを選択した。

間接タッチでは入出力面が分離されるため、正確な位置への指のタップが難しい。これに対して本システムでは、先行研究 [10] に基づいて、指のスライドによるポインタ操作およびタッチアップによる選択の導入を導入することにより、正確なポインティングを実現する。この際、ポインティングジェスチャは既存のスワイプジェスチャと軌跡が類似するため、両者が干渉する恐れがある。そこで、ポインティングが弾性運動および修正運動から構成されるという性質 [12] に基づいて、従来のスワイプジェスチャにフリック動作を割り当てることにより、両者を判別可能とした。本システムのジェスチャ判別ロジックを以下に示す。なお、使用したパラメータは著者実験を基に決定した。

1. 2 本指のタッチダウンはピンチと判定する。
2. 300 ms 以内に 2 回、10 px 以内の位置がタッチダウンされた場合、ダブルタップと判定する。
3. ジェスチャの実行時間が 500 ms を超過した場合はタップと判定する。
4. 全体のジェスチャ方向に対して、移動方向が



図 2. 間接タッチジェスチャによる操作例。a) ポインティングによるアプリケーション選択, b) スワイプによるスクロール, c) ロングタップによる項目編集, d) ドラッグによる項目の並び替え。

逆なフレームがある場合はタップと判定する。

5. ジェスチャ全体に対する終盤 20% のフレームの平均速度を算出する。この平均速度が 150 px/s を超過した場合はスワイプ, 150 px/s 以下の場合はタップと判定する。
6. タッチアップ直前 500 ms の移動距離が 10 px 以下の場合はロングタップと判定する。
7. ロングタップ状態から指をスライドした場合はドラッグと判定する。

間接タッチでは指の位置-ポインタ間の Control-Display 比 (C-D 比) が調整可能である [10]。本システムでは C-D 比を 1.5 倍に設定することにより、画面端に位置するターゲットの容易な選択を実現した。

4 おわりに

本論文では、VR 環境内でのスマートフォン UI 操作を目的とした間接タッチジェスチャを示した。本システムによりユーザは VR 体験を中断することなく、シームレスにスマートフォン UI を操作できることが期待される。今後、実験を通じて本ジェスチャのパラメータを調整するとともに、ジェスチャの実行精度およびユーザビリティの評価を行う。

参考文献

- [1] D. Almeida, D. Mendes, and R. Rodrigues. SIT6: Indirect Touch-based Object Manipulation for DeskVR. *Computers & Graphics*, 117:51–60, 2023.
- [2] Apple. Apple Vision Pro でビューミラーリングまたは AirPlay レシーバーを使用する. <https://support.apple.com/ja-jp/guide/apple-vision-pro/tanf4ca9ada2/visionos>, 2025. (2025/10/21 参照) .
- [3] Apple. Human Interface Guidelines. <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines>, 2025. (2025/10/21 参照) .
- [4] H. Bai, L. Zhang, J. Yang, and M. Billingham. Bringing Full-featured Mobile Phone Interaction into Virtual Reality. *Computers & Graphics*, 97:42–53, 2021.
- [5] C. Dupré, C. Appert, S. Rey, H. Saidi, and E. Pietriga. TriPad: Touch Input in AR on Ordinary Surfaces with Hand Tracking Only. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '24, pp. 754:1–754:18, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [6] Google. Material Design 3. <https://m3.material.io>, 2025. (2025/10/21 参照) .
- [7] Immersed Inc. Immersed. <https://immersed.com>, 2025. (2025/10/21 参照) .
- [8] M. Kari and C. Holz. HandyCast: Phone-based Bimanual Input for Virtual Reality in Mobile and Space-Constrained Settings via Pose-and-Touch Transfer. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [9] L. Kohli, M. C. Whitton, and F. P. Brooks. Redirected Touching: The Effect of Warping Space on Task Performance. In *2012 IEEE Symposium on 3D User Interfaces*, 3DUI 2012, pp. 105–112, New York, NY, USA, 2012. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [10] S. Kyian and R. Teather. Selection Performance Using a Smartphone in VR with Redirected Input. In *Proceedings of the 2021 ACM Symposium on Spatial User Interaction*, SUI '21, pp. 6:1–6:12, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [11] A. Makhsadov, D. Degraen, A. Zenner, F. Kosmalla, K. Mushkina, and A. Krüger. VRySmart: a Framework for Embedding Smart Devices in Virtual Reality. In *Extended Abstracts of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '22, pp. 358:1–358:8, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.
- [12] D. E. Meyer, R. A. Abrams, S. Kornblum, C. E. Wright, and J. E. Keith Smith. Optimality in Human Motor Performance: Ideal Control of Rapid Aimed Movements. *Psychological Review*, 95(3):340–370, 1988.
- [13] S. Yamanaka, H. Usuba, and J. Sato. Behavioral Differences between Tap and Swipe: Observations on Time, Error, Touch-point Distribution, and Trajectory for Tap-and-swipe Enabled Targets. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [14] F. Zhu, Z. Lyu, M. Sousa, and T. Grossman. Touching The Droid: Understanding and Improving Touch Precision With Mobile Devices in Virtual Reality. In *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, ISMAR 2022, pp. 807–816, New York, NY, USA, 2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [15] F. Zhu, X. Qian, D. Kalmar, M. Tayarani, E. J. Gonzalez, M. Gonzalez-Franco, D. Kim, and R. Du. Beyond the Phone: Exploring Phone-XR Integration through Multi-View Transitions for Real-World Applications. In *2025 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces*, IEEE VR 2025, pp. 770–780, New York, NY, USA, 2025. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [16] F. Zhu, M. Sousa, L. Sidenmark, and T. Grossman. PhoneInVR: An Evaluation of Spatial Anchoring and Interaction Techniques for Smartphone Usage in Virtual Reality. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '24, pp. 639:1–639:16, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.