JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	FingerSlider: VR空間における指パラメーター操作インタフェース
Author(s)	黄, 柏飛; 楠木, 幹也; 謝, 浩然
Citation	研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI), 2024-HCI-207(7): 1-8
Issue Date	2024-03-04
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/18834
Rights	社団法人情報処理学会, 黄柏飛, 楠木幹也, 謝浩然, 情報処理学会研究報告. HCI, ヒューマンコンピュータインタラクション, 2024-HCI-207 (7), 2024, pp.1-8. ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は(社)情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 Notice for the use of this material: The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.
Description	第207回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会

JAIST
JAPAN ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

Vol.2024-HCI-207 No.7
2024/3/11

FingerSlider: VR空間における指パラメーター操作インタフェース

黄　柏飛[1,a)]　楠木　幹也[1]　謝 浩然[1]

概要：近年 VR 研究が注目を浴び、様々な分野での活用が進んでいる。このため、ジェスチャー操作によるオブジェクトの操作やテキストの閲覧は、重要な研究課題となっている。しかしながら、従来のジェスチャー操作のインタフェースでは、一つのジェスチャーが一つの属性や要素の調整にしか使えず、複雑なタスクの場合は操作が混乱するおそれがある。また、ユーザーが独自に再現しにくい問題も存在する。本研究では、QUEST2 と Leap Motion デバイスを使用し、マルチ操作システムを提案する。VR 空間内でスライダーとジェスチャーを組み合わせることで、シングルパラメータのジェスチャーをマルチパラメータに変換する。これにより、片手だけでオブジェクトを視覚的に操作することが可能となる。最後に、既存の VR ジェスチャーのスライダー操作手法との比較実験を行い、提案手法の有効性を検証した。

FingerSlider: Finger Parameter operation interface in VR space

1. はじめに

近年、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）が安価で身近なものになったことによ り、バーチャルリアリティ（VR）コンテンツが普及し、より身近なものになると同時に、研究者の間でも注目を集めている。 VR 関連の研究は現在も広く行われており、この傾向は今後も続くと予想される。 また、VR はエンターテインメント、スポーツ、医療、観光、デザインなど様々な分野で効果的に活用されており、今後も新たな応用分野が生まれる可能性が高い。

消費者向け VR 技術の最新の進歩に伴い、研究者や関連企業は、さまざまなコントロール技術を用いたさまざまなインタラクション手法を開発しており、インタラクションやインターフェースのデザインだけでなく、ユーザー体験の面でも大きな進歩や向上をもたらしている。

ヘッドマウントディスプレイ（HMD）ベースの VR では、一般的な操作方法として、コントローラを使用する手法がある。ユーザーは VR ヘッドセットを装着して、ジョイスティック、マウス、ゲームパッド等のコントローラを介して 3 次元（3D）仮想空間とのインタラクションを行う。しかし、これらのデバイスを介してのインタラクションには、装着者の行動（例えば、ボタンを押す）と３Ｄアバターの行動の間にリアクションマッピングを課し [1]、操作方法の可能性が制限されるため、ユーザーの没入感を損なう。

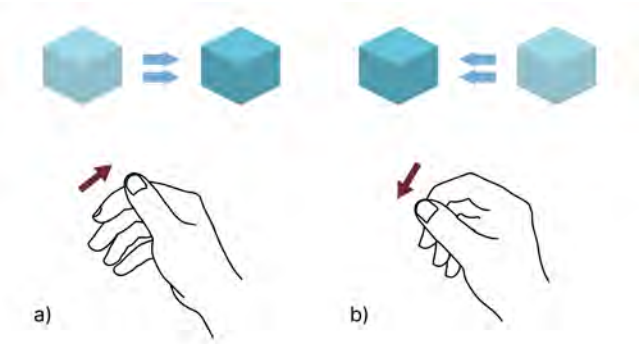


図 1: 提案システム FingerSlider の基本操作と概要図。左図は親指を人差し指の第二関節までスライドさせ、物体の右方向への動きを制御する。右図は親指を人差し指の先端部分までスライドさせることで、物体の左方向への動きを制御する。

本研究では、ハンドトラッキングセンサ Leap Motion のジェスチャー認識に基づく片手用スライドバー操作手法を提案した。ユーザは、片手で親指の指先をスライドさせることにより、物体の動きをコントロールすることができる。

1　北陸先端科学技術大学院大学
Nomi, Ishikawa 923–1211, Japan
a)　s2310050@jaist.ac.jp

ⓒ2024 Information Processing Society of Japan

異なる指をスライドさせることにより、物体のあらゆる方向への動き、さらにはサイズの調整をコントロールすることができる。 図 1 に示すように、親指を人差し指の第二関節までスライドさせ、物体の右方向への動きを制御する（図 1a）。逆に、親指を人差し指の先端部分までスライドさせることで、物体の左方向への動きを制御する（図 1b）。VR 空間での物体操作に関する先行研究では、両手を通じて精度を確保する方法が選択されることが多いが、利き手と非利き手の分かれているため、操作の全体的な効率は低下する。

そのため、本研究はハンドトラッキング技術を用いたきめ細かな操作による、ユーザーが簡易に使えるインタラクションシステムを提案し、現存している市販デバイスである物に対してのジェスチャー操作とコントローラー操作を比較実験を行った。

2. 関連研究

2.1 ジェスチャー操作

商用アプリケーションや先行研究では、手のひらを使った VR 空間のインタラクションやコントロールにジェスチャーを使用することが検討され、現実世界の動きを真似して、ジェスチャーによってユーザーの行動とアバターのパフォーマンスとの間の不一致に対処した [2]。ビジュアル・デザインのワークフローが VR 空間に投入され、没入感のある状態で作品を制作するため、スケッチによる制作が VR 空間に提案された [3] [4]。

それ以外に、近年全身トラッキング技術もよく提案され、VR 空間のデザインは手の周りの空間に及ぶようになる。例えば、Google の Tilt brush は、ユーザの利き手ではない方の手のコントローラに、複数のレイヤーの UI 空間を持つバーチャルプリズムを配置し、利き手のコントローラを通して操作できる [5]。

利き手ではない手のひらを開くことで表示される UI の内容を変更し、利き手の指でクリックするだけで操作できる Open palm menu も提案された [6]。Armstrong は、認識マーカーを腕に追加することで、VR デバイスの光学認識領域を腕に拡張し、さらに 3D ウィジェットを利き手でない方の腕の領域に追加することで、3D 空間を操作できるようにした [7]。これらの技術は、手の非対称性を利用し、両手の動作からのフィードバックを活用することで、タスクの中断を最小限に抑え、ユーザの体験への没入感を最大化する [8]。

また、仮想空間におけるモデリングや制作を行ったりするようになっている [9][10]。 コンテンツを読む場合も同様で、特に逐語的に読んだりページをめくったりする場合には、操作の体験が没入感に大きく関係する [11]。これらの応用例の場合、VR 空間内での正確な操作、特にオブジェクト（コンテンツ）の位置のよる正確なコントロールが要求されるようになる。

2.2 ウェアラブルインターフェイス

ウェアラブルデバイスも異なる分野のコントロール技術を研究者が対象とする領域の一つである。例えば、Body2Particles[12] は、深度センサー付きの光学カメラを使って、複雑なアニメーションエフェクトに対応するスライダーを体の動きでコントロールし、異なる色や形のアニメーションエフェクトを生成する。また、SKINPAPER[13] という、従来の物理制御ハードウェアを、身体に取り付けた様々な紙回路としてデザインし、身体に取り付けた紙回路に触れることでターゲットを操作する研究もある。それだけに限らず、VR 空間でのコントロールの精度と没入感を高めるために、外部ハードウェアをコントロールデバイスとして使用することを選択する研究者も多い。

例えば、magGlove[14] というグローブデバイスの研究は、ジェスチャー運動と同時に触覚フィードバックを生成することで、ユーザーの視覚と触覚の一貫性を保ち、ユーザーの没入感を維持することを目的としている。 また、AO-Finger[15] は、グローブデバイス利用により、VR 空間において、コントローラーを使用せず、指同士の相互作用により、より正確なキャプチャーとコントロールを可能にする手法である。

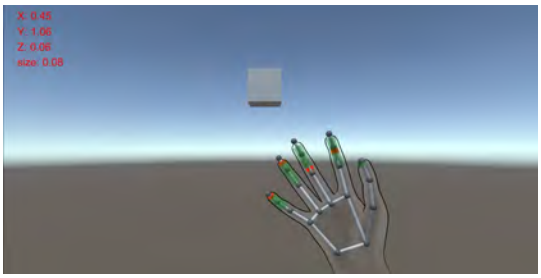
2.3 VR アプリケーション

具体的な応用として、Fashimpaur らは [16] 長文や長時間のコンテンツ読むのために、手首の角度を調節して、コンテンツのスライドバーの位置と調節スピートをコントロールすることを提案し、この技術は有効的に既存の技術（ジェスチャーコントロールとコントローラー制御）の長時間操作の疲労問題を軽減することができるが、精度について十分な検討を行っていない。

GesPlayer[17] は、指の動きの傾向をカメラで捉え、空中のジェスチャーで動画再生をコントロールすることを提案しているが、具体的な精度や効果についての検証が行われていないため、その効果や効率にはいまだ疑問が持たれる。

Ubi Edge[18] では、スライダーを AR 空間に革新的に統合し、実験によって、指を通して物体をスライドさせる精度が、ユーザーが空中で腕を振るよりもはるかに高く、体験の充実度が高いことを得た。

そこで本研究は、ハンドフリーという特性を踏まえて、このデザインを VR 空間に導入する。光学認識デバイスをベースにして、指にスライダーを付け、指の間でスライダーをスライドさせることでスライダーとインタラクションを行う。これでオブジェクトやコンテンツを正確にコントロールすることを提案・試作した。



(a) 使用者の視点

(b) 実際の使用シーン

図 2: FingerSlider 実際の使用

3. システム概要

提案システムの基本的な仕組み（図 1、図 2）は、緑色の三次元ストリップのような構造で、赤い四角形がスライダーボタンとなっており、ユーザーは親指先端のコンポーネントを通して赤い四角形とインタラクションし、スライダーと対応するオブジェクトをコントロールする。

提案システムは、指先がスライダーの始点、指の第二関節がスライダーの終点となる（図 1、図 4a）。ユーザーは親指の先端をスライドさせて指とインタラクションしたり、親指を固定した状態で指を屈曲させてスライダー自体を前に移動させたりして、スライダーの操作を実現する。ユーザーは指の動きの速度をコントロールすることで、スライダーの速度をコントロールできる。同時に人差し指から小指の任意の部分をクリックすることで、直接ジャンプしてスライダーのアニメーションやプロセスをスキップすることができる。

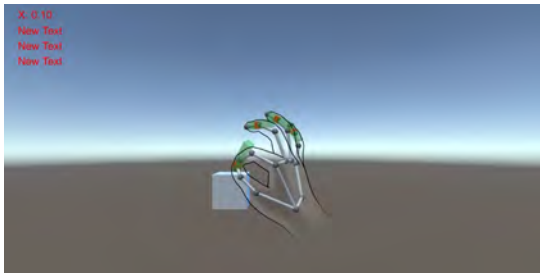
本研究では、市販のハードウェア上に構築され、既存のハンドトラッキング API をベースにカスタム設計された検出アルゴリズムを特徴としている。このセクションでは、コアコンポーネントについて説明する。

3.1 実装詳細

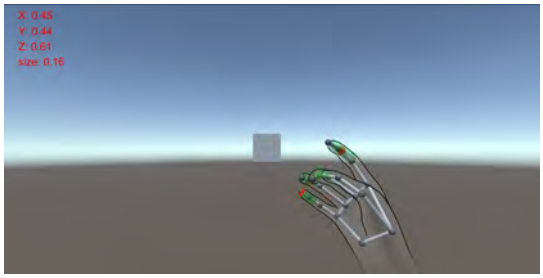
提案システムは、Oculus Quest 2、Leap Motion（バージョン 5.13.2）、3D プリンタでプリントされた Leap Motion フレームの 3 つのパーツで構成されている。この 3 つを組み合わせ、USB3.0 Type-C ケーブルで PC（CPU: intel i7-11800H、GPU:RTX 3070 8G）に接続することで、Leap Motion の内蔵カメラによるリアルタイムのハンドキャプチャーが可能になる。

実際に開発に利用されたハードウェアは図 3 に示している。Leap Motion は 3D プリントされた筐体に搭載され、そのカメラと Oculus Quest 2 のカメラコンポーネントを一致させることで、より統一された視覚表現と正確なキャプチャを実現するために、Oculus Quest 2 の中央に固定されている。

図 3: 提案システムのハードウェア



(a) 手の側面の状態で操作



(b) 手のひらの状態で操作

図 4: FingerSlider 操作状態

ソフトウェアは Unity ゲームエンジン（バージョン 2023.1.18f1）、Ultra leap sdk 6.13.0 で構築されている。Leap Motion ハンドトラッキングは、視野内に手を見つける前に、システムを“手なし”の状態で初期化する。手を認識すると、“ハンド”状態に切り替わる（図 2b）。この状態において、ユーザーは右手親指の先端にあるコンポーネントを他の 4 本の指の側面に対してスライドさせることで操作可能になり、オブジェクトの動きや大きさをコントロールすることができる（図 1）。

4. プロトタイプ開発

本研究で開発したプロトタイプにおける、具体的なジェスチャー操作と内容は以下の通りである。

(1) 親指：指の先端がタッチインタラクションのコンポーネントとなる。
(2) 人差し指：スライダーでオブジェクトの X 軸方向の動きをコントロールする。
(3) 中指：スライダーでオブジェクトの Y 軸方向の動きをコントロールする。
(4) 薬指：スライダーでオブジェクトの Z 軸方向の動きをコントロールする。
(5) 小指：スライダーでオブジェクトのサイズをコントロールする。

スクリーンの左上には、ターゲットオブジェクトに対応するコントロールの正確な距離と位置が表示される。ユーザーは、手の側面（図 4a)、または手のひら（図 4b）を Leap Motion に向けて、スライダーを操作することができる。

また、人によって手の大きさや寸法が異なるため、Leap Motion に向かう手の側面を基本モードとしたが、同時に提案システムが 3D 構造であるため、Leap Motion に手のひらを向けて操作することも可能である。

5. 評価実験

今回の実験の目的は、提案手法の使いやすさ、オブジェクト制御の精度、ユーザーの好感度を検証することである。この目的の実現に向け、市販の VR 製品で最も一般的に使用されているスライダ操作手法を簡略化した 2 つの比較システムを作成した。

具体的には、コントローラーでスライダーを引っ張る方法、ジェスチャーでスライダーを引っ張る方法、この 2 つを提案する操作と比較する。複数の手法を組み合わせずに、単一の手法と提案手法の精度、好感度、使いやすさを比較する。

5.1 実験環境

今回の実験では、提案システム開発時に使用した同じ機材（図 3)、具体的には Oculus Quest 2、Leap Motion(バージョン 5.13.2)、3d プリンタでプリントした Leap Motion フレームを使用する。提案システムは Ultra Leap Kit を使用しているため、パソコンに接続して使用する必要があるが、他の 3 つのタクトは Oculus Quest 2 の中にインストールされている。USB3.0 Type-C ケーブルで PC（CPU：intel i7-11800H, GPU：RTX 3070 8G）と接続することで、基本的な実験環境が完成する。

5.2 比較実験

比較実験システムに関しては、Unity3D(バージョン 2023.1.18f1) を使用し、Oculus Integration kit を用いて 2 つの比較システムを統一化して開発を実施した。ジェスチャーキャプチャについては、quest2 に内蔵された 4 つのカメラでリアルタイムキャプチャを行う。比較システムの操作と簡単な説明は以下の通りである。

(1) コントローラを使ってスライダを引く：ユーザはコントローラの前にあるガイド線を使ってスライダの位置を合わせ、トリガボタンを押してスライダを左右に牽引してコントロールし、トリガボタンを離すとスライダのロックが解除される。
(2) ジェスチャーキャプチャによるスライダーの引き操作：ユーザーは、ジェスチャーの方向に対応するガイド線にスライダーを合わせ、人差し指と親指をタッチして左右の牽引でスライダーをコントロールし、人差し指と親指を離すとスライダーのロックが解除される。

比較システムは、提案システムよりもビジュアルユーザインタフェースが 1 つ多く、2 つの比較システムは、コントロール方法を除き、完全に一致したシステムである。比較システム及び提案システムも精確性が要求されるため、制御の最小閾値を小数点以下 2 桁、すなわち各調整の基本値 0.01 に設定する。

5.3 実験タスク

事前に被験者に基本的な操作手順と実験課題を説明し、各システムの課題を開始する前に 2 分間、被験者に操作に慣れてもらう時間を用意する。3 つのシステム内にあらかじめ配置された 4 つの座標グループ、具体の座標は以下のように設定する（図 5a)。

(1) X：0.25 Y：0.00 Z：0.00 SIZE：0.00
(2) X：0.50 Y：0.18 Z：0.00 SIZE：0.00
(3) X：0.70 Y：0.42 Z：0.16 SIZE：0.00
(4) X：0.10 Y：0.65 Z：0.44 SIZE：0.40

被験者は、対応する座標に従って、ターゲットオブジェクトを目的地まで移動させる。被験者がタスクを完了するまでの各時間と合計時間を計測し、比較する。被験者がすべてのタスクを完了した時点で、アンケートに回答して実験を終了する。

5.4 評価項目

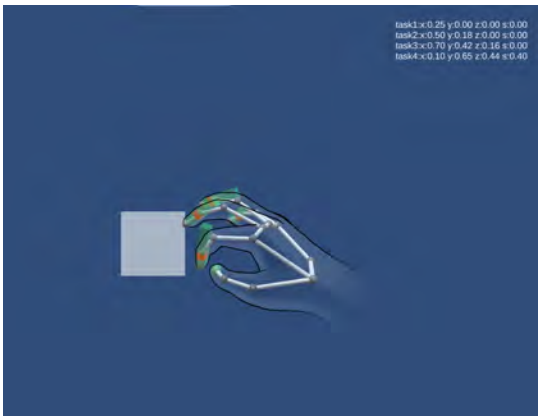
実験測定の方法としては、最初に被験者の個別タスク時間と合計タスク時間を測定して以下の 3 つの手法の効率を比較し、すべてのタスクを完了した後でアンケートとユーザービリティテストを実施する。

A) 提案手法（図 5a）
B) コントローラを使ってスライダを引く（図 5b）
C) ジェスチャーキャプチャによるスライダーの引き操作（図 5c）

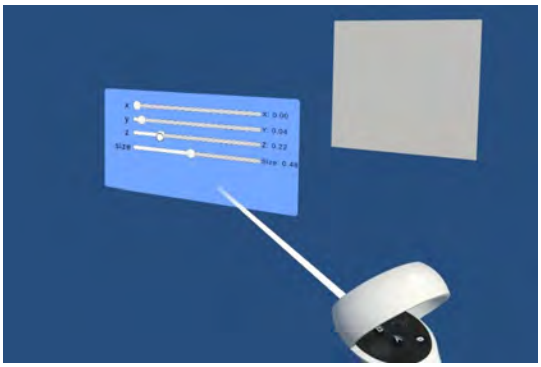
具体的な項目は以下のように設定した。

(1) これらのシステム（A、B、C）の中で、私はどれが一番好きか（A、B、C)。
(2) これらのシステム（A、B、C）の中で、私はどれが一番満足度が高いと感じるか（A、B、C)。

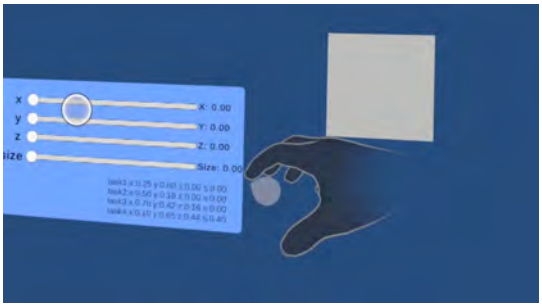
ⓒ2024 Information Processing Society of Japan



(a) 提案手法 A



(b) コントローラー操作 B



(c) ジェスチャー操作 C

図 5: 比較対象であるジャスチャー操作手法

5.5 ユーザビリティ評価

提案手法のユーザーエクスペリエンスを検証するため、システムユーザビリティスケール SUS（System Usability Scale）によるアンケート設計を選択し、5 段階リッカート尺度（1：全くそう思わない⇔ 5：とてもそう思う）を導入してアンケートを使用する。具体的なアンケート内容は以下の通りである。

Q1 提案手法のユーザー・インターフェースは非常にわかりやすくシンプルだ。
Q2 提案手法上の操作は不要に複雑だと感じる。
Q3 提案手法の操作はとても直感的でわかりやすいと思う。
Q4 提案手法を使用するには多くのトレーニングが必要だと考える。
Q5 提案手法の異なる機能は一貫していると思う。
Q6 提案手法の操作中には不要なステップが多いと感じる。
Q7 提案手法はほとんどの人がすぐに使いこなせると思う。
Q8 提案手法は、使い方が面倒だと思う。
Q9 提案手法を使うことにとても自信がある。
Q10 提案手法に満足されていない。

6. 実験結果

図 6: 実験中の被験者の写真

比較実験のアンケート結果 1 を図 7 に示す、結果 2 では全員コントローラー手法に選択した。ユーザビリティ評価の結果は図 8、図 9、図 10 に示す。

今回の実験参加者は全部で 6 名、年齢は 24〜33 歳前後、6 名のうち女性は 1 名のみであった。SUS の結果グラフ (図 8) によると、被験者の SUS の平均得点は 50〜70 点前後で推移しており、総平均得点は 59.58、中央値は 58.75 である（t 得点は平均=50 とした場合の比較得点)。図 8 の右図に、形容詞尺度は「想像しうる最悪」から「想像しうる最適」までの範囲の記述的形容詞に関して SUS 研究のスコアを文脈化したものである。評定尺度は、「F」から「A」までのスクールグレードに関する SUS の調査スコアを文脈化したものである。受容性尺度は、SUS 研究のスコアを「受け入れできない」(Not Acceptable）から「わずかに受け入れる」(Marginally accaptable)、「受け入れられる」(Acceptable）までの記述に文脈化したものである [19]。提案手法のユーザビリティは全体的に平均以上であり、極端な低得点はなく、ほとんどの被験者が提案手法をある程度評価しているが、全体的な満足度はまだ中位の低いレベルであることがわかる。

具体的な設問としては、設問 1 の「ユーザー・インターフェースは非常にわかりやすくシンプルだ」では、機能が主にジェスチャー表現に集中されているため、インターフェイスに対して簡潔かつ直接的な印象を持つ人が多く、設問 2 と設問 3 は操作が主にジェスチャー表現に絞られているため、評価も良かった。

ⓒ2024 Information Processing Society of Japan

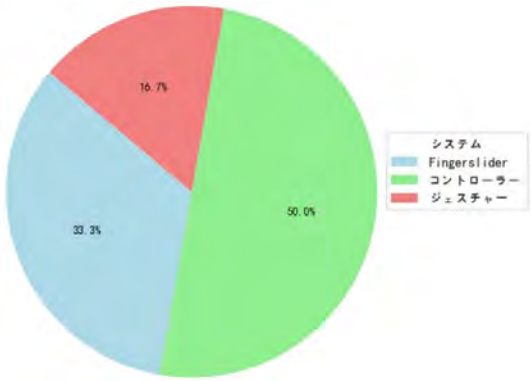


図 7: アンケート結果 1

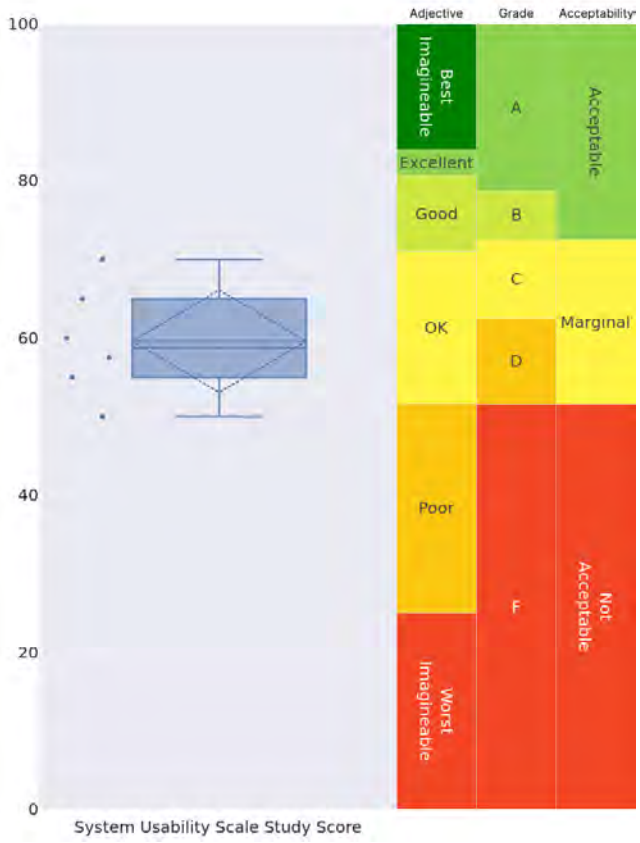


図 8: SUS ユーザービリティ評価結果：箱ひげ図、右側は可用性レベル、形容詞尺度、評定尺度、受容性尺度を含めている。

設問 4「提案手法を使用するには多くのトレーニングが必要だと考える。」について、ほぼすべての被験者が、使いこなすために多くの訓練が必要を選択した、これはタスク時間グラフにも示されている (図 10)。被験者は、体験時間と最初のタスクの後、次のタスクでの操作時間が短縮されず、タスクの難易度が上がるにつれて、かかる時間がほぼ倍以上に増加したのに対し、他の手法は、体験時間と最初のタスクの後、その後のタスクにかかる時間は多少減少する傾向にある。これは、ユーザーが短期間で提案手法を使いこなせるようになることはほとんど不可能であること

図 9: SUS ユーザービリティ評価結果：積層棒グラフ

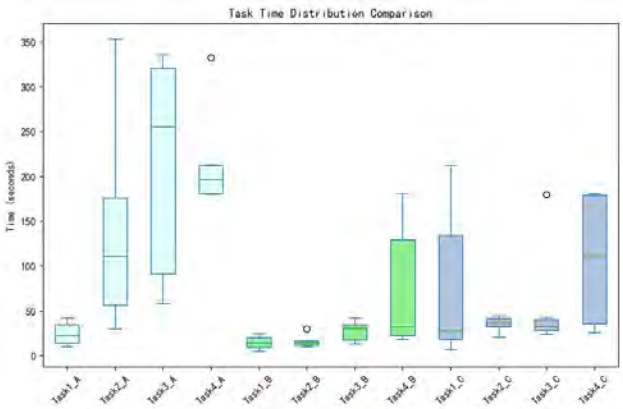


図 10: SUS ユーザービリティ評価結果：各任務平均時間

がわかった。理由の一つは、タスク 3・4 の実験で、被験者は最後の 2 本の指をうまく操作するために、特定の角度を必要とすることが多く、さらに失敗することも多かったので、基本的にトレーニングが必要だと考えていた。 これが、提案操作に時間がかかる主な理由である。2-3 回タスクをこなすと、徐々にコントロールできそうな角度を体得し、少しずつコントロールできるようになり、トレーニングの必要性への認識も深まった。

設問 5 と設問 6 は同じで、スライダーを指に載せていることで、対象物の操作に対応するパラメーターは異なるが、指のインタラクションは同じであるため、高い評価を得ている。しかし、光学認識デバイスの制限により、薬指と小指のインタラクションは非常に難しく、人差し指と中指の操作はよく反応するが、薬指と尾指の操作は干渉されやすく、被験者 6 人中 3 人が同様の不満の意見を述べている。

最後の 3 問も、薬指と小指の干渉が原因で、評価は中か、あるいは悪いの得点になった。 実際の実験では、手のひらを Leap Motion に向けるなど、一定の角度に手を回転させると、ほとんどの被験者が薬指をある程度操作することができたが、小指の認識が操作の妨げになり誤認識することが多く、一方で薬指が中指と重なりやすく誤認識しやすいため、中指の操作や認識に影響を与えていた。

小指の認識は、6 人中 4 人の被験者がほとんど使い物にならないと考えており、一定の角度にしか反応せず、使用者が望む位置に調整することができなかった。また、女性の被験者は手が小さいため、他の男性被験者よりも小指の操作に成功しやすかった。つまり、最後の 2 本の指では、手の大きさと指の長さが認識精度に大きな影響を与えるが、人差し指と薬指はどのような場合でも手の大きさに合わせることができる。

タスクの平均時間 (図 10) については、提案手法はコントロールの難しさから比較方式よりも時間がかかり、好感度の評価では、ジェスチャー操作よりも提案手法の方がパラメータ切り替えの利便性や感度が高く、被験者全員の一致した意見であった。 しかし、被験者全員がコントローラ操作が最も満足度が高いと回答した。

ディスカッションでは、「薬指と小指に違和感があり、認識が悪すぎる」という不満が中心で、「X 軸、Y 軸の認識は非常に速いが、認識に失敗するケースもある」というコメントもあった。 また、「コントローラー以外のジェスチャーは、いずれも手を上げる時間が長く、かえって疲れる 」というコメントも他と違った点である。

7. まとめ

本研究では、VR 空間上のオブジェクトを片手ジェスチャで操作できる FingerSlider を提案し、一般的なスライダ操作手法との比較実験を行い、アンケートを通じて提案手法の欠点と利点を明らかにした。

実験の観察では、提案操作の人差し指の操作は、他の操作に比べて弱くない第一課題の時間があり、多くの人は人差し指を上げて中指を動かさない。しかし、中指を動かすときには薬指も動かす人が多く、薬指のスライダーが中指のススライダーに影響するため、タスク 2 から始め、認識衝突が発生し、タスク時間を大幅に消費してしまう。

利点としては、スライダーを指に乗せることで、パラメーターの操作を簡単に切り替えることができ、目的の数値を素早く選択して変更することが可能で、水平比較すると、本来のジェスチャー手法よりも好感が持てる。 欠点としては、人差し指と中指以外の薬指と小指は基本的に使えない。 これは人差し指と中指の操作にも影響し、システム全体の操作を難しくし、ユーザーの学習コストとタスク時間を増加させる。

今後の課題としては、薬指と小指の干渉により、システム全体の効果が良くないので、まずは薬指と小指の機能を取り除いてシステム全体を改善し、人差し指と中指の認識率の高さ、反応の速さなどの利点を高め、人差し指と中指または人差し指のみに機能を集中させ、指の重なりや干渉の影響を減らす必要がある。

その上で、システムの応用面について、より多くの実験と検証が必要である。 例えば、コンテンツの閲覧等であり、応用面における修正された提案手法と 2 つの既存手法をより詳細に検証・比較する。最終的には、指のインタラクションによるマルチパラメーターのインタラクションという目標を達成し、さらに多くの場面で応用することで、ユーザーエクスペリエンスと仕事や娯楽の効率を向上させるのを実現することを目指す。

参考文献

[1] Jorge C. S. Cardoso. Comparison of gesture, gamepad, and gaze-based locomotion for VR worlds. In Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology.Association for Computing Machinery, 2016, p319–320

[2] Siyou Pei, Alexander Chen, Jaewook Lee, and Yang Zhang. Hand Interfaces: Using Hands to Imitate Objects in AR/VR for Expressive Interactions. In Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2022, Article 429, p1–16

[3] Ying Jiang, Congyi Zhang, Hongbo Fu, Alberto Cannavò, Fabrizio Lamberti, Henry Y K Lau, and Wenping Wang. HandPainter - 3D Sketching in VR with Hand-based Physical Proxy. In Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '21). Association for Computing Machinery, 2021, Article 412, p1–13

[4] Yu-Hsu Lee and Yan-Jie Peng. Comparing VR Modeling Tool and Hand-Sketching in the Inspiration of Classic Chair Design and Modeling. In Design, User Experience, and Usability: 12th International Conference, DUXU 2023, Held as Part of the 25th HCI International Conference, HCII 2023, 2023, p182–192

[5] Google LLC. 2016. Tilt Brush by Google.

[6] Takumi Azai, Mai Otsuki, Fumihisa Shibata, and Asako Kimura. Open Palm Menu: A Virtual Menu Placed in Front of the Palm. In Proceedings of the 9th Augmented Human International Conference (AH '18). Association for Computing Machinery, 2018, Article 17, p1–5

[7] Zhen Li, Joannes Chan, Joshua Walton, Hrvoje Benko, Daniel Wigdor, and Michael Glueck. Armstrong: An Empirical Examination of Pointing at Non-Dominant Arm-Anchored UIs in Virtual Reality. In Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '21). Association for Computing Machinery, 2021, Article 123, p1–14

[8] Eric A. Bier, Maureen C. Stone, Ken Pier, William Buxton, and Tony D. DeRose. 1993. Toolglass and magic lenses: the see-through interface. In Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '93). Association for Computing Machinery, 1993, p73-80

[9] 楠木幹也, 古浜龍, 戸嶋龍佑, 森葉月, 謝浩然, 王子洋, 由井薗隆也, 佐藤俊樹, 宮田一乗, M-Brush: VR 空間における多視点を利用したデザイン手法の提案, インタラクション 2023, 2023.

[10] M. Kusunoki et al., "MultiBrush: 3D Brush Painting Using Multiple Viewpoints in Virtual Reality," 2023 9th International Conference on Virtual Reality (ICVR), 2023, p481-486

[11] Jenny Gabel, Melanie Ludwig, and Frank Steinicke. Immersive Reading: Comparison of Performance and User Experience for Reading Long Texts in Virtual Reality. In Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '23). Association

for Computing Machinery, 2023, Article 170, p1–8
[12] Haoran Xie, Dazhao Xie, and Kazunori Miyata. Body2Particles: Designing Particle Systems Using Body Gestures. In Entertainment Computing – ICEC 2020: 19th IFIP TC 14 International Conference, ICEC 2020, 2020, p445-458
[13] Jingwen Zhu, Nadine El Nesr, Nola Rettenmaier, and Cindy Hsin-Liu Kao. 2023. SkinPaper: Exploring Opportunities for Woven Paper as a Wearable Material for On-Skin Interactions. In Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '23). Association for Computing Machinery, 2023, Article 479, p1–16
[14] M. Kusunoki, S. Yoshida and H. Xie, "MagGlove: A Haptic Glove with Movable Magnetic Force for Manipulation Learning," 2022 International Conference on Cyberworlds (CW), Kanazawa, Japan, 2022, pp. 155-158
[15] Chenhan Xu, Bing Zhou, Gurunandan Krishnan, and Shree Nayar. AO-Finger: Hands-free Fine-grained Finger Gesture Recognition via Acoustic-Optic Sensor Fusing. In Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '23). Association for Computing Machinery, 2023, Article 306, p1–14
[16] Jacqui Fashimpaur, Amy Karlson, Tanya R. Jonker, Hrvoje Benko, and Aakar Gupta. Investigating Wrist Deflection Scrolling Techniques for Extended Reality. In Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '23). Association for Computing Machinery, 2023, Article 386, p1–16
[17] Xiang Li, Yuzheng Chen, and Xiaohang Tang. GesPlayer: Using Augmented Gestures to Empower Video Players. In Companion Proceedings of the 2022 Conference on Interactive Surfaces and Spaces (ISS '22). Association for Computing Machinery, 2022, p4–8
[18] Fengming He, Xiyun Hu, Jingyu Shi, Xun Qian, Tianyi Wang, and Karthik Ramani. 2023. Ubi Edge: Authoring Edge-Based Opportunistic Tangible User Interfaces in Augmented Reality. In Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '23). Association for Computing Machinery, 2023, Article 461, p1–14
[19] Aaron Bangor, Philip Kortum, and James Miller. Determining what individual SUS scores mean: adding an adjective rating scale. J. Usability Studies 4, 3, 2009, p114–123.

ⓒ2024 Information Processing Society of Japan