

手首からのレイによる VR 向けの片手かな文字入力手法の評価

井口 凌輔^{1,a)} 横山 海青¹ 志築 文太郎¹

概要: ハンドトラッキングが利用可能な VR 環境において使用できる、手首からのレイによる片手かな文字入力手法である WristRayFlick の改良および改良後の評価を示す。フリック入力に基づく VR 向けの文字入力手法には奥行き方向の手の動きが存在するが、WristRayFlick においては手首からのレイを用いることにより、奥行き方向に手を動かさずに文字を入力できる。今回、我々の過去の研究における WristRayFlick の実装において発生していた、ハンドトラッキングデバイスの精度に起因する問題を解決した。これにより、ヘッドマウントディスプレイ (Meta Quest 2) のみによって WristRayFlick を使用できるようになった。また、フリック方向の判定に用いる角度範囲は、これまで、方向によらず 72° としていたが、指および手首の可動領域を考慮すると、それぞれの方向ごとに適切な角度範囲が存在すると考えられる。そこで、予備実験を通じてフリック方向の判定に用いる角度範囲を新たに決定した。以上の改良を行った後、文字入力実験によって性能を評価した。

1. はじめに

ハンドトラッキング技術を用いることにより、VR 環境において手の動作のみを用いて操作を行う場面が増えてきた。近年、その場面におけるかな文字入力が研究されている [8], [14], [15], [17], [18], [19]。それらの中には、スマートフォン操作におけるフリック入力に基づく手法がある [14], [15], [18], [19]。フリック入力の特徴として、日本人の若者の 80% が慣れ親しんでいるという点が挙げられる [9]。また、スマートフォンにおけるフリック入力による文字入力速度は 78.6 CPM と高速であるという点も挙げられる [16]。そのため、VR 環境におけるかな文字入力においても、フリック入力に基づく手法を用いることにより、ユーザが短時間において手法に習熟し、かつ高速に文字を入力することが可能になると考えられる。

しかし、これまでの、ハンドトラッキング技術を用いた VR 向けフリック入力手法（以降、VR フリック入力手法）においては、ユーザは子音または母音を確定するために奥行き方向へ手を移動させる必要があるため、文字入力のために多くの手の移動が必要であるという課題がある [14], [19]。このため、腕を上げてインタフェースを操作し続けることにより腕の疲労が生じるゴリラアーム現象 [2], [6], [7] が発生していると考えられる。また、手の移

動量が多い分、文字入力に多くの時間を要すると考えられる。そのため、VR フリック入力手法において手の移動量を減らすことにより、疲労の軽減および文字入力の高速化が可能になると考えられる。

本研究では、手の付け根の座標を始点として、キーボード平面の法線方向に放出されるレイ（図 1a）を用いた VR フリック入力手法である WristRayFlick [12] を改良する。本手法においては、ユーザは子音キーにレイを当てる（子音選択）ことにより母音キー（図 1b）を表示し、次に、いずれかの母音キーの方向へ指先を動かす（図 1c）こと、すなわちフリック動作により、フリック方向に対応する母音の入力が可能である。子音選択にレイを用いるという設計により、従来の VR フリック入力手法 [14], [19] とは異なりユーザは奥行き方向へ手を動かす必要がない。また、WristRayFlick においては、レイの放出の始点が入差し指ではなく手の付け根であるため、レイによるポインティングを行いつつ指による操作を行うことができる。そのため、スマートフォンにおけるフリック入力と似た、入差し指によるフリック動作を用いて文字を入力することができる。

過去の研究においては、ハンドトラッキング精度の問題により、ヘッドマウントディスプレイ（以降、HMD）のみを用いて WristRayFlick を使用することができなかった。本研究においては、手の付け根の座標の移動平均を用いることによってこの問題を解決した。また、過去の研究においては、フリック方向の判定に用いる角度範囲を方向によ

¹ 筑波大学

^{a)} iguchi@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

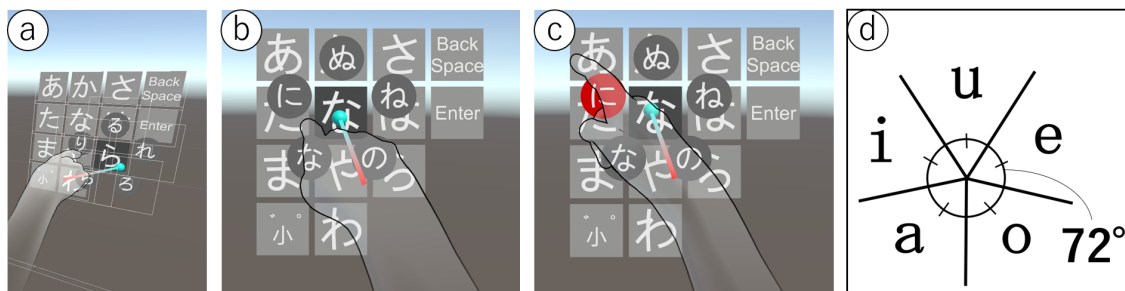


図 1 WristRayFlick の概要. 手首からキーボード平面の法線方向に放出されるレイ (a) によって子音選択 (本例では「な」) を行い (b), その後, 人差し指を用いたフリック動作により母音選択 (本例では「に」) を行う (c). 選択される母音はフリックの角度によって異なる (d).

らず 72° としていた. 本研究においては, 予備実験によって新たにこの角度の範囲を決定した.

本研究の貢献を以下に示す.

- 手首からのレイによる片手かな文字入力手法である WristRayFlick を, ハンドトラッキング機能を搭載した HMD のみを用いて動作するようにした.
- 予備実験において, フリック方向の判定に用いる角度範囲を新たに決定した.
- 比較実験において, WristRayFlick の方が従来の VR フリック入力手法より CPM および手の移動量が小さいことを示した.

2. 関連研究

従来の VR フリック入力手法 [19] においては, ユーザは指先をキーに触れさせることにより子音を選択し, 次に, 子音キーの周りに表示される母音キーへ指先を移動し, 指を手前に引くことで母音を選択できる. これに対して, 手の移動量を減らすために, 奥行き方向への手の移動を, 親指を曲げる動作 [18], あるいは親指と人差し指でつまむ動作 [15] によって代替した手法がある. これらの手法は手の移動量を削減する一方で, フリック動作とは異なる動作を必要とする. WristRayFlick は, スマートフォンにおけるフリック入力と同様に指先によるフリック動作を用いて文字を入力できる手法である.

また, フリック入力をコントローラを用いて行った際の性能を示した研究 [10], [13] がある. これらの研究において, スマートフォンにおけるフリック入力経験者は非経験者と比べて入力速度が速いことが示されている. この結果から, スマートフォンにおけるフリック入力の経験が, 他の機器・環境におけるフリック入力の習熟を早めると考えられる. WristRayFlick では, スマートフォンにおけるフリック動作と同様の指先によるフリック入力を実現することにより, 短時間での習熟および入力速度の高速化を目指す.

3. WristRayFlick

WristRayFlick による文字入力方法およびその実装を述べる.

3.1 文字入力方法

WristRayFlick においては, ユーザは子音選択および母音選択の 2 段階を経て文字を入力する.

ユーザは, 手の付け根の座標を始点として, キーボード平面の法線方向に出たレイ (図 1a) をキーに当てることによって子音を選択する (図 1b). 選択した子音を示す視覚フィードバックをユーザに与えるために, 子音キーの色は初期の状態を明るい灰色とし, 選択された状態を暗い灰色とした. また, 選択された子音キーの周りに, そのキーに対応する 5 つの母音キーが表示される (図 1b).

ユーザは子音を選択した後, 手首の位置を固定したまま, 人差し指の先端を 5 方向のいずれかに動かすこと (フリック動作) により, その方向に対応した母音を選択することができる (図 1c および d). また, 選択した母音を示す視覚フィードバックをユーザに与えるために, 母音キーの色は初期の状態を暗い灰色とし, 選択された状態を赤色とした. なお, WristRayFlick においては, 母音選択と同時に文字が入力される.

なお, WristRayFlick におけるバックスペースキー, エンターキー, および特殊入力キー (濁音化, 半濁音化, および捨て仮名化) の入力は, レイによってこれらのキーを選択した状態において下方向のフリックによって行う.

3.2 実装

WristRayFlick におけるフリック動作の判定およびその無効化, ポインタの移動量のスケーリング, および手の付け根の座標取得の実装について述べる.

なお, 以降の節において述べる各種パラメータの値は, より高速, 正確, かつ疲労の少ない VR フリック入力が可能となるように著者が決定した.

実装に際して、HMD として Meta Quest 2 を用いた。Meta Quest 2 に搭載されたハンドトラッキング機能を用いて、人差し指の先端の座標は 30 Hz、また、手の付け根の座標は 60 Hz のサンプリングレートにおいて取得した。

3.2.1 フリック動作の判定

母音選択をするためのフリック動作が行われたことを判定するために、人差し指の先端の速度を用いる。WristRayFlick を実装したシステムにおいては、人差し指の先端の座標のサンプルごとに指先の速度を算出し、瞬間速度として扱っている。人差し指の先端の瞬間速度が秒速 0.4 m を超えたとき、フリック動作が行われたと判定する。なお、フリック動作が行われたと判定されたサンプルにおける指先の瞬間速度ベクトルを、キーボード平面に射影したベクトルの方向を、フリック動作の角度とする。この角度が図 1d のどの範囲に含まれるかによって、フリックの方向、すなわち選択される母音が決まる。

3.2.2 フリック動作の判定の無効化

3.2.1 節において述べた通り、ユーザが母音選択をする際のフリック動作の判定には、指先の速度を用いる。そのため、子音選択のために手全体を動かしているだけでもフリック動作が行われたと誤って判定されることがある。これを防ぐために、手首の速度が秒速 0.1 m を超えている間はフリック動作の判定を無効化する。

また、フリック動作の後に、ユーザがフリック動作以前の位置に指先を戻す際にもフリックが行われたと判定されることがある。これを防ぐために、前回のフリックから 0.3 秒経過するまではフリック動作の判定を無効化する。

3.2.3 ポインタの移動量のスケールリング

手首から出たレイがキーボードに衝突した位置に、ポインタが表示される（図 1）。手首の移動量とポインタの移動量を同じとした場合、子音選択の際に必要な手の移動が求められる。そこで我々は、ポインタの移動量を手首の移動量の 2.5 倍とすることで、より少ない手首の移動によってキーを選択できるようにした。

3.2.4 手の付け根の座標取得

Meta Quest 2 を用いた VR 環境において WristRayFlick を用いる際には、ユーザの手の付け根の座標として移動平均を用いる。

Meta Quest 2 を用いてハンドトラッキングを行う際、母音選択のためのフリック動作時に、手の付け根を動かしていないにもかかわらず、ハンドトラッキングシステムが取得した手の付け根の座標情報としては高速で振動していることになり、そのため、3.2.2 節において述べたフリック動作の判定の無効化が誤って発生してしまっていた。つまり、フリック動作を行っても文字入力ができないことが頻発した。

この問題を解決するため、取得した手の付け根の座標を

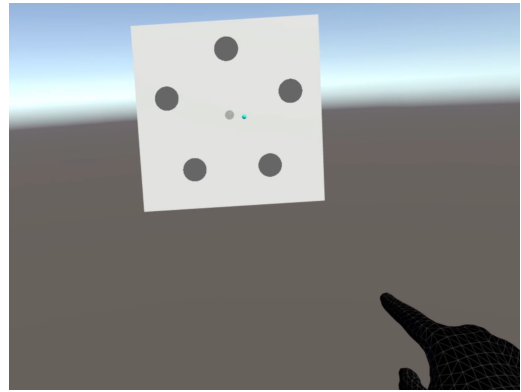


図 2 予備実験アプリケーション画面。フリック方向を指示する円が 5 方向に展開されている。青色の球がポインタであり、手の付け根の座標に対応して動く。

そのまま利用するのではなく、8 サンプル分の座標の移動平均を用いる。これによって、フリック動作の際に前述の手の付け根の座標の振動がなくなったため、手の付け根の座標の速度がフリック動作の判定の無効化に用いる閾値を上回ることがなくなった。

4. 予備実験

本節では、フリック方向の判定に用いる角度範囲を新たに決定する。

これまでは各母音に対応する角度範囲をすべて等しく 72° としていた（図 1d）。しかし、各フリック方向ごとに、指の関節および手首の可動領域に応じた適切な角度範囲が存在すると考えられる。そこで、実験参加者に 5 方向にフリックしてもらい、そのフリック動作の角度の分布を分析する。この結果をもとに各フリック方向の角度範囲を決定する。

4.1 実験参加者および実験装置

著者らと同じ研究室に所属している、22 から 24 歳 ($M = 22.9$ 歳, $SD = 0.9$ 歳) の大学生および大学院生 6 名を実験参加者とした。全ての実験参加者は右利きであった。実験参加者のうち、5 名は男性、1 名は女性であった。

ハンドトラッキングシステムは Meta Quest 2 に搭載されたものを用いた。また、著者が作製した実験アプリケーションを用いて、人差し指の先端の座標を 30 Hz のサンプリングレートにおいて取得した。なお、この座標データは後の分析に用いた。

4.2 実験内容

実験アプリケーションにおいては、WristRayFlick の母音キーの展開方向と同じ 5 方向に方向指示用の円が表示される（図 2）。実験が始まると、いずれかの方向に対応する円の色が灰色から赤色に変化する。実験参加者には、赤色

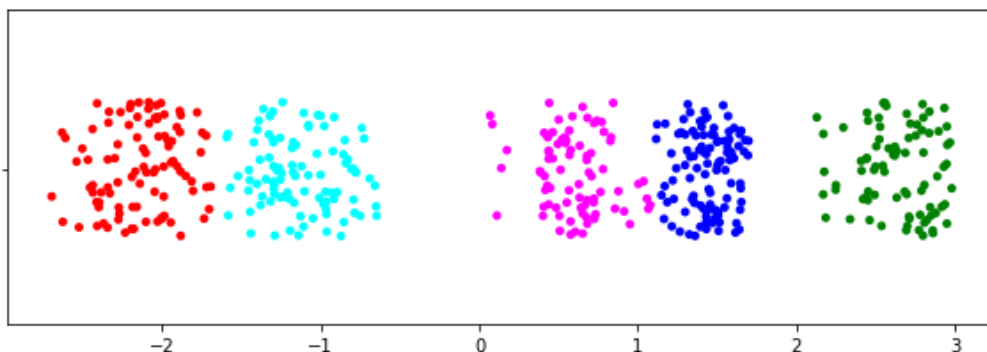


図 3 フリック動作の角度の分布図. 横軸は, 水平右向きを 0 ラジアンとしたときのフリック動作の角度 (ラジアン) である. なお, プロットした点は重複しないように縦方向に分散して表示されている. 赤色の点は母音 a, 水色の点は母音 o, 紫色の点は母音 e, 青色の点は母音 u, 緑色の点は母音 i に対応する指示円のある方向にフリックした際の角度データである.

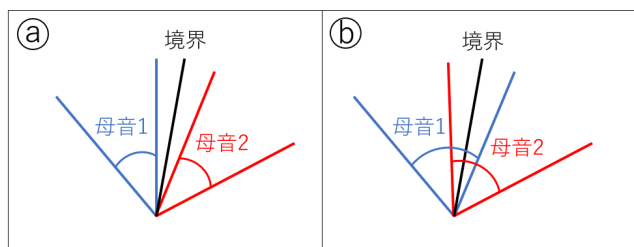


図 4 新たな境界の決定方法. 2 つの母音に対応する 99%信頼区間が (a) のように重ならない場合および (b) のように重なる場合があるが, いずれの場合も区間の端の中間を境界とする.

に変化した円のある方向にフリックするように指示した. 実験参加者がフリックした後, 指先をフリック前の位置に戻し始めると, 円の色は赤色から灰色に戻る. その後, 実験参加者が手の付け根の座標に対応するポインタ (図 2 の青色の球) を中央の円の中に入れて 0.1 秒経過すると, 再びいずれかの方向に対応する円の色が灰色から赤色に変化する. 赤い円の方へ 1 回フリックすることを 1 試行とし, 5 方向へのフリック (合計 5 試行) を 1 セットとした. 実験参加者 1 名あたり合計 21 セット (105 試行) を実施した. なお, フリック方向の提示順序は各セットごとにランダムとした.

実験参加者には, Meta Quest 2 を装着し, イスに座った状態において実験を実施するように指示した. また, WristRayFlick は右手人差し指で操作することを想定しているため, 本予備実験でのフリック動作は全て右手人差し指を用いて行うよう指示した. また, 実験タスクを高速かつ正確に行うように指示した.

4.3 実験結果および分析

まず, 予備実験における各試行について, 3.2.1 節において述べた方法によってフリック動作の角度を求めた. 次に, 5 つの指示方向それぞれについて, フリック動作の角

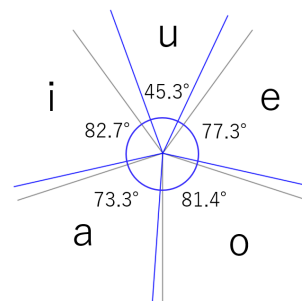


図 5 予備実験によって新たに決定した, 各母音に対応する角度の範囲およびその範囲の大きさ. 灰色の直線は従来の境界線, 青色の直線は新たに決定した境界線を示す.

度のデータの外れ値を, 外れ値検出アルゴリズムである LOF[3] を用いて除去した. 外れ値を除去した後の全てのデータを図 3 に示す.

次に, 5 通りの隣り合う領域に対応する母音の組み合わせ (母音 a および i, i および u, u および e, e および o, o および a) について, その境界を決定した. 境界の決定手順としては, まず 2 つの母音それぞれの分布の 99%信頼区間を求め, 次にその区間の端の値の中間値を境界とした (図 4). この境界を元に新たに決定した各フリック方向ごとの角度範囲を図 5 に示す. 以降の節では, この角度範囲をフリック方向の判定に用いる.

5. 比較実験

WristRayFlick (提案手法) および従来の VR フリック入力手法 (比較手法) の文字入力速度 (CPM), トータルエラー率 [1], 手の移動量, キーストローク間の経過時間, SUS [4], および NASA-TLX [5] のスコアを測定した. 比較手法として VR フリック入力手法を選んだ理由は, フリック入力に基づいているという点, および片手によるかな文字入力手法であるという点において WristRayFlick と共通

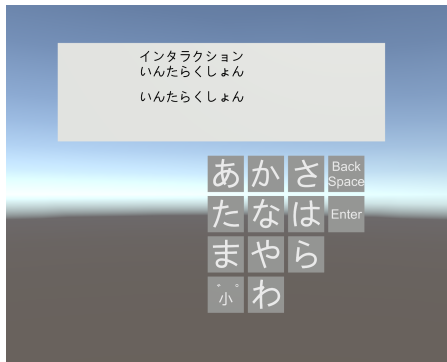


図 6 実験において使用した文字入力システムの UI.

するためである。比較手法である VR フリック入力手法は、先行研究 [19] を参考に実装した。

5.1 実験参加者

著者らと同じ研究室に所属している、22 から 24 歳 ($M = 22.8$ 歳, $SD = 0.8$ 歳) の大学生および大学院生 6 名を実験参加者とした。全ての実験参加者は右利き、かつ男性であった。フリック入力の使用頻度については、5 名が「いつも使う」、1 名が「よく使う」と回答した。過去に WristRayFlick および VR フリック入力手法の両方を使用した経験のある実験参加者が 4 名いた。他の 2 名は両手法とも使用した経験はなかった。なお、予備実験の参加者は本実験の参加者に含まれていない。

5.2 実験装置および実験環境

ハンドトラッキングシステムは Meta Quest 2 に搭載されたものを用いた。また、著者が作製した実験アプリケーションを用いて、人差し指の先端の座標を 30 Hz、また、手の付け根の座標を 60 Hz のサンプリングレートにおいて取得した。

実験において使用した文字入力システムを図 6 に示す。提案手法および比較手法は共通して、テキストボックスおよびキーボードが床面に垂直であり、それぞれの手法ごとに、著者が最も文字入力タスクを行いやすいと感じる位置に配置した。具体的には、実験参加者は両手法を右手を用いて行うため、両手法においてキーボードの位置はテキストボックスに対して右寄りに配置されている。また、比較手法におけるキーボードは、提案手法におけるキーボードに比べてユーザの手が届きやすいようにユーザの近くに配置され、それに伴い、テキストボックスもユーザの近くに配置された。

5.3 実験内容

実験参加者は最初に、年齢、性別、利き手、およびフリック入力の使用頻度についてのアンケートに回答した。次に、実験参加者は HMD (Meta Quest 2) を装着し、イスに

座って文字入力タスクを実施した。このとき、実験参加者に対して、イスの高さおよび位置を自由に調整することを許可した。また、実験参加者に対して、文字入力タスクを右手を用いて行うことを指示した。文字入力タスクには、各手法につき、2 つのセッション (練習および本番) が含まれる。各セッションの内容は以下のとおりである。まず練習セッションにおいて、実験参加者は 28 文の短文からなる合計 289 文字の練習文を入力した。練習セッションが終わった後、本番セッションとして実験参加者は練習文とは異なる 24 文の短文からなる合計 167 文字の課題文を入力した。練習文および課題文には、横山ら [13] が用いた、50 音、濁音、半濁音、捨て仮名、および長音記号からなる意味のある短文を用いた。実験参加者には、高速かつ正確に入力するように指示した。実験参加者は本番セッションの後、そのセッションにおいて使用した文字入力手法について、SUS, NASA-TLX, および自由記述からなるアンケートに回答した。実験参加者は各セッションの間に 15 分以上の休憩を行った。実験に要した時間は 2 時間以下であった。

入力手法の実行順については、実験参加者の半数は提案手法のセッションを先に実施し、残りの半数は比較手法のセッションを先に実施することによってカウンターバランスをとった。練習文および課題文はいずれの入力手法および実験参加者においても、それぞれ共通のセットが用いられた。ただし、短文の出題順はセッションごとにランダムである。

5.4 実験結果

実験によって明らかになった各手法の入力速度 (CPM)、トータルエラー率、手の移動量、キーストローク間の経過時間、SUS スコア、および NASA-TLX スコアを示し、統計解析を行った結果を示す。統計解析において、有意水準は 0.05 とした。

5.4.1 入力速度

CPM の平均は、WristRayFlick が 36.5 ($SD = 10.4$)、VR フリック入力手法が 59.9 ($SD = 18.7$) であった。対応のある t 検定を行った結果、これらの平均値の間には有意差が示された ($p < 2.2 \times 10^{-16}$, $d = 1.54$)。

5.4.2 トータルエラー率

トータルエラー率の平均は、WristRayFlick が 9.3% ($SD = 12.6\%$)、VR フリック入力手法が 7.6% ($SD = 11.7\%$) であった。ウィルコクソンの順位と検定を行った結果、これらの平均値の間には有意差が示されなかった ($p = 0.20$, $d = -0.075$)。

5.4.3 手の移動量

実験中、実験参加者の手の付け根の座標を 60 Hz のサンプリングレートで取得した。取得した各サンプルの座標の

距離の総和を手の移動量とした。本番セッションの開始から終了までの手の移動量の合計の平均は、WristRayFlick が 31.9 m ($SD = 5.1$ m), VR フリック入力手法が 56.4 m ($SD = 10.7$ m) であった。対応のある t 検定を行った結果、これらの平均値の間には有意差が示された ($p = 0.0040$, $d = -2.92$)。

5.4.4 キーストローク間の経過時間

本論文におけるキーストロークの定義は、母音選択およびバックスペースキー、エンターキー、および特殊入力キーの入力を行うことである。実験中、各フレーズについて、実験参加者が行ったキーストロークおよびタイムスタンプの組をデータとして取得した。このデータを分析したところ、キーストローク間の経過時間の平均は、WristRayFlick が 1177 ミリ秒 ($SD = 195$ ミリ秒), VR フリック入力手法が 756 ミリ秒 ($SD = 156$ ミリ秒) であった。対応のある t 検定を行った結果、これらの平均値の間には有意差が示された ($p < 2.2 \times 10^{-16}$, $d = -2.38$)。

5.4.5 SUS スコア

SUS スコアの平均は、WristRayFlick が 75.8 ($SD = 4.7$), VR フリック入力手法が 75.4 ($SD = 5.8$) であった。ウィルコクソンの順位和検定を行った結果、これらの平均値の間には有意差が示されなかった ($p = 0.98$, $d = 0.028$)。

5.4.6 NASA-TLX スコア

WristRayFlick および VR フリック入力手法における身体の疲労について調べるため、NASA-TLX における身体的要求のスコアを示し、統計解析を行った結果を示す。NASA-TLX における身体的要求のスコアの平均は、WristRayFlick が 80.0 ($SD = 7.1$), VR フリック入力手法が 74.2 ($SD = 13.6$) であった。対応のある t 検定を行った結果、これらの平均値の間には有意差が示されなかった ($p = 0.22$, $d = -0.54$)。

5.5 考察

WristRayFlick の CPM は VR フリック入力手法の CPM の 0.61 倍であった。一方で、トータルエラー率の差が 1.7% であり、また、キーストローク間の経過時間の平均については WristRayFlick が VR フリック入力手法の 1.56 倍であった。このことから、エラー率の差ではなく、キーストロークに要する時間の差によって、両手法の CPM の差が生じたと考えられる。

また、WristRayFlick を用いた文字入力における手の移動量は、VR フリック入力手法を用いた場合に比べて少ないことがわかった。

6. 議論および今後の展望

本節では、比較実験の結果から考えられる議論および今後の展望を述べる。

6.1 追加実験

5 節において述べた実験では、実験参加者が少ないため、結果および検定精度において信頼度が高い結果とは言えない。そのため、今後は 5 節において述べた実験を、より多くの参加者を対象として実施する必要がある。

また、文字入力に関する研究においては、しばしば長期実験を行うことで実験参加者が手法に慣れている状態における性能評価が行われることがある [8], [11]。また、WristRayFlick および VR フリック入力手法の両方に習熟している著者が比較実験における本番セッションを行った結果、CPM の平均は WristRayFlick の場合が 71.2, VR フリック入力手法の場合が 67.8 であり、トータルエラー率の平均は WristRayFlick の場合が 0.6%, VR フリック入力手法の場合が 5.0% であった。よって、実験参加者が著者と同程度に WristRayFlick に慣れることにより、さらなる文字入力性能の改善が見込めるため、長期にわたる性能調査を検討する。

6.2 WristRayFlick のさらなる改良

6.2.1 フリック動作の判定方法による改良

著者が比較実験の際に実験参加者が文字入力タスクを実施している様子を観察したところ、フリック動作を行っているにもかかわらず文字が入力されない場面がしばしばあった。この影響が 5.5 節において述べた、両手法におけるキーストロークに要する時間の差に及んだことによって、WristRayFlick の CPM が従来の VR フリック入力手法の CPM より小さいという実験結果になったと考えられる。今後は、入力に要する時間が大きいキーストロークを調査し、それを元にフリック動作の判定方法およびフリック動作の判定の無効化方法を改良する。

6.2.2 新たなジェスチャの導入による改良

人差し指以外の指を人差し指と同時にフリックする動作によって、バックスペースキー、エンターキー、および特殊入力キーの入力を行えるようにするという改良が考えられる。

例えば、人差し指、中指、および薬指を同時に下方向にフリックする動作によって文字を削除できるようにするという改良が考えられる。この改良によって、ユーザは文字を削除する際にレイを用いてバックスペースキーを選択する必要がなくなる。

また、中指および人差し指を同時にフリックする動作によって特殊入力を行えるようにするという改良が考えられる。現状の WristRayFlick においては、例えば「が」というひらがなを入力するために、「か」の子音キーを選択した状態において左下方向にフリックし、次に、特殊入力キーを選択した状態において下方向にフリックする必要がある。しかし、この改良によって一度の子音選択および母音

選択によって「が」を入力することができるようになる。

6.3 WristRayFlick のさらなる活用方法

WristRayFlick の利点として、手首を始点としたレイを用いるという設計により、人差し指を自由に動かすことができる点がある。そのため、母音選択に用いているフリック動作を、文字入力だけでなく様々な入力に活用できると考えられる。例えば、ある対象をレイによりポインティングした後にフリックすることによって、そのフリックの方向に対応したコマンドを実行するといった、WristRayFlick の活用方法が考えられる。このような活用方法によりハンドトラッキングを用いた入力の種類を増やすことを検討する。

7. 結論

本研究では、手の付け根の座標を始点として放出されるレイを用いる VR フリック入力手法である WristRayFlick を、HMD のみを用いて動作するように改良した。さらに予備実験において、フリック方向の判定に用いる角度範囲を新たに決定した。また、比較実験において、WristRayFlick の方が従来の VR フリック入力手法より CPM および手の移動量が小さいことを示した。今後は、WristRayFlick のさらなる性能調査、改良および使途の探求を行う。

参考文献

- [1] Arif, A. S. and Stuerzlinger, W.: Analysis of Text Entry Performance Metrics, *2009 IEEE Toronto International Conference Science and Technology for Humanity*, IEEE, pp. 100–105 (2009).
- [2] Boring, S., Jurmu, M. and Butz, A.: Scroll, Tilt or Move It: Using Mobile Phones to Continuously Control Pointers on Large Public Displays, *Proceedings of the 21st Annual Conference of the Australian Computer-Human Interaction Special Interest Group*, pp. 161–168 (2009).
- [3] Breunig, M. M., Kriegel, H.-P., Ng, R. T. and Sander, J.: LOF: Identifying Density-Based Local Outliers, *ACM SIGMOD Record*, Vol. 29, pp. 93–104 (2000).
- [4] Brooke, J.: SUS: A Quick and Dirty Usability Scale, *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189–194 (1996).
- [5] Hart, S. G. and Staveland, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research, *Advances in Psychology*, Vol. 52, pp. 139–183 (1988).
- [6] Hincapié-Ramos, J. D., Guo, X., Moghadasian, P. and Irani, P.: Consumed Endurance: A Metric to Quantify Arm Fatigue of Mid-Air Interactions, *Proceedings of the 2014 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1063–1072 (2014).
- [7] Jang, S., Stuerzlinger, W., Ambike, S. and Ramani, K.: Modeling Cumulative Arm Fatigue in Mid-Air Interaction based on Perceived Exertion and Kinetics of Arm Motion, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3328–3339 (2017).
- [8] Komiya, K. and Nakajima, T.: A New Japanese Input Method for Virtual Reality Applications, *Human-Computer Interaction. Interaction Technologies* (Kurosu, M., ed.), Cham, Springer International Publishing, pp. 43–55 (2018).
- [9] Nagasawa, N.: How Japanese University Students Type on Smartphone and PC, *Computer & Education*, Vol. 43, pp. 67–72 (2017).
- [10] Takahashi, R., Shirai, S., Orlosky, J., Uranishi, Y. and Takemura, H.: A Japanese Character Flick-Input Interface for Entering Text in VR, *2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, pp. 251–253 (2021).
- [11] Yokoyama, K., Takakura, R. and Shizuki, B.: JoyFlick: Japanese Text Entry Using Dual Joysticks for Flick Input Users, *Human-Computer Interaction – INTERACT 2021* (Ardito, C., Lanzilotti, R., Malizia, A., Petrie, H., Piccinno, A., Desolda, G. and Inkpen, K., eds.), Cham, Springer International Publishing, pp. 107–125 (2021).
- [12] 井口凌輔, 横山海青, 磯本俊弥, 志築文太郎: WristRayFlick: 手首からのレイによる VR 向けの片手かな文字入力手法, 第 30 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2022) 予稿集, 3 pages (2022).
- [13] 横山海青, 高倉礼, 志築文太郎, 川口一画: フリック入力に基づく 2 本の押し込み機能付きジョイスティックを用いたテキスト入力手法, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 23, No. 4, pp. 383–396 (2021).
- [14] 喜多修太郎, 小倉加奈代, Bahadur, B. B., 高田豊雄: LeapMotion を用いた VR 上での文字入力手法の検討, 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-HCI-181, No. 21, pp. 1–7 (2019).
- [15] 小澤宗馬, 梅澤猛, 大澤範高: 空中におけるつまむ動作を用いた効率的な文字入力の検討, 第 14 回情報科学技術フォーラム第 3 分冊, pp. 389–390 (2015).
- [16] 須藤理紗, 寺田実: モバイル端末の姿勢を用いた文字入力拡張手法, 電気通信大学情報理工学域 I 類 コンピュータサイエンスプログラム 令和元年度卒業論文, pp. 1–27 (2020).
- [17] 川口航平, 磯本俊弥, 志築文太郎, 高橋伸: VR 向けの掌上における日本語フリック入力手法の提案, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2019, pp. 676–682 (2019).
- [18] 大石真佐貴, 物部寛太郎: VR におけるハンドトラッキングを用いた日本語入力手法の検討, 第 26 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 2C1-2, pp. 1–4 (2021).
- [19] 福仲伊織, 謝浩然, 宮田一乗: VR 環境におけるフリック入力形式インタフェースの開発, 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-HCI-182, No. 3, pp. 1–8 (2019).