

2022年度

筑波大学情報学群情報科学類

卒業研究論文

題目

手首からのレイを用いた
VR向けの片手かな文字入力手法

主専攻 ソフトウェアサイエンス主専攻

著者 井口 凌輔

指導教員 志築 文太郎, 川口 一画, 高橋 伸

要 旨

本研究においては、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 を示す。本手法においては、子音選択にレイを用いるという設計によって、ユーザが奥行き方向へ手を動かす必要がない。これによって従来手法より疲労を軽減し、かつ、文字入力を高速化することを図った。比較実験の前に、6名を対象と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決定した。次に、12名を対象と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入力速度および手の移動量が小さいこと、および、トータルエラー率およびキーストローク間の経過時間が大きいことを示した。

目次

| | | |
|------------|---------------------------|-----------|
| 第1章 | 序論 | 1 |
| 1.1 | VR環境における文字入力の課題 | 1 |
| 1.2 | 設計 | 2 |
| 1.3 | 貢献 | 2 |
| 1.4 | 本論文の構成 | 3 |
| 第2章 | 関連研究 | 4 |
| 2.1 | フリック入力に基づくVR向けのかな文字入力手法 | 4 |
| 2.2 | フリック入力に基づかないVR向けのかな文字入力手法 | 4 |
| 2.3 | コントローラを用いたフリック入力手法 | 5 |
| 第3章 | WristRayFlick | 6 |
| 3.1 | 文字入力方法 | 6 |
| 3.2 | 実装 | 6 |
| 3.2.1 | フリック動作の判定 | 7 |
| 3.2.2 | フリック動作の判定の無効化 | 7 |
| 3.2.3 | ポインタの移動量のスケーリング | 7 |
| 3.2.4 | 手の付け根の座標取得 | 7 |
| 第4章 | 予備実験 | 9 |
| 4.1 | 実験参加者および実験装置 | 9 |
| 4.2 | 実験内容 | 9 |
| 4.3 | 実験結果および分析 | 10 |
| 第5章 | 比較実験 | 13 |
| 5.1 | 比較手法 | 13 |
| 5.1.1 | 子音選択 | 13 |
| 5.1.2 | 母音選択 | 13 |
| 5.2 | 実験参加者 | 15 |
| 5.3 | 実験装置および実験環境 | 15 |
| 5.4 | 実験内容 | 16 |
| 5.5 | 実験結果 | 16 |

| | | |
|--------------|-----------------------------------|-----------|
| 5.5.1 | 入力速度 | 16 |
| 5.5.2 | トータルエラー率 | 16 |
| 5.5.3 | 手の移動量 | 17 |
| 5.5.4 | キーストローク間の経過時間 | 17 |
| 5.5.5 | SUS スコア | 17 |
| 5.5.6 | NASA-TLX スコア | 17 |
| 5.6 | 考察 | 17 |
| 第 6 章 | 議論, 今後の課題, および展望 | 19 |
| 6.1 | 予備実験の制約 | 19 |
| 6.2 | 追加実験 | 19 |
| 6.3 | WristRayFlick のさらなる改良 | 20 |
| 6.3.1 | フリック動作の判定方法による改良 | 20 |
| 6.3.2 | フリック方向の削減 | 20 |
| 6.3.3 | 新たなジェスチャの導入による改良 | 20 |
| 6.4 | WristRayFlick のさらなる活用方法 | 21 |
| 第 7 章 | 結論 | 22 |
| | 謝辞 | 23 |
| | 業績リスト | 24 |
| | 参考文献 | 25 |
| 付録 A | 実験において用いた練習文・課題文 | 28 |
| 付録 B | 実験において用いたアンケート | 31 |
| B.1 | 事前アンケート | 31 |
| B.2 | 手法ごとのアンケート | 34 |

目次

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | 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」) を行う (b). 次に, 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動作の角度によって異なる (d). なお, (d) は過去の研究 [1] における, フリック方向の判定に用いる角度範囲である. この角度範囲は 4 章における予備実験によって改良された. | 2 |
| 4.1 | 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ための 5 つの円が表示されている. 青色の球は, 手の付け根の座標に対応して動くポインタである. | 10 |
| 4.2 | 実験において収集された, 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, 各データに対応する点は, 重複しないように縦方向に分散してプロットされている. 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, 実験参加者がフリックした際の角度データである. | 11 |
| 4.3 | 図 4.2 の各点を円形にプロットした. | 11 |
| 4.4 | 新たな境界の決定方法. 2 つの母音それぞれに対応する 99% 信頼区間が重ならない場合 (a) および重なる場合 (b) がある. いずれの場合も信頼区間の端の中間を新たな境界とする. | 12 |
| 4.5 | 予備実験によって決定した, 各母音に対応する新たな角度範囲. 灰色の直線は角度範囲をすべて等しく 72° とした場合の境界線であり, 青色の直線は予備実験によって新たに決定した境界線である. | 12 |
| 5.1 | VR フリック入力手法において子音選択をする様子. 「な」のキーが選択されている. | 14 |
| 5.2 | キーとその外側における, 各母音に対応した領域. 母音 a はキー上の領域に対応し, その他の母音はキーの外側を 4 分割した領域に対応する. | 14 |
| 5.3 | VR フリック入力手法において母音選択をする様子. 「に」のキーが選択されている. この状態から指先をキーボードの手前に移動させることによって「に」が入力される. | 14 |
| 5.4 | 実験において使用した文字入力システムの UI. | 15 |

表目次

| | |
|----------------------------|----|
| A.1 実験において用いた練習文 | 29 |
| A.2 実験において用いた課題文 | 30 |

第1章 序論

近年, Virtual Reality (以降, VR) 環境におけるアプリケーションを使用するためのヘッドマウントディスプレイ (以降, HMD) [2, 3, 4] が普及している. VR 環境においては, 例えばパスワードを入力する場面や, VRChat [5] のようなソーシャルアプリケーションにおいてチャットを行う場面など, 文字入力が必要とする場面がある. 本章においては, VR 環境における文字入力の課題を述べた後, 提案手法の設計方針, 本研究の貢献および本論文の構成を述べる.

1.1 VR 環境における文字入力の課題

HMD を装着した状態における文字入力は, 主にコントローラを把持した状態において行われる. そのため近年, VR 環境におけるコントローラを用いた文字入力手法が研究されている [6, 7, 8]. 一方, ハンドトラッキング技術 (手指の動作をトラッキングする技術) 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加している. この場合には, コントローラを用いずに, 同じく手の動作のみによって文字入力を行えることが好ましい. 近年, この場合において用いることのできる, 手の動作のみによるかな文字入力が研究されている [9, 10, 11, 12, 13, 14]. 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 [10, 11, 13, 14]. フリック入力の特徴としては, 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 [15]. また, スマートフォンにおいてフリック入力を用いた文字入力速度は 78.6 CPM と高速であるという点も挙げられる [16]. したがって, 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って, 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.

フリック入力は子音選択および母音選択の 2 段階に分けることができる. 子音選択は, 例えば「あ」, 「か」, 「さ」などの, 五十音表における行を選択することである. 母音選択は, 例えば「あ」, 「い」, 「う」などの, 五十音表における段を選択することである. 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, ユーザが子音または母音を確定するために手を奥行き方向に移動させる必要があるため, 文字入力のために手の移動が多く必要であるという課題がある [10, 14]. 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って腕の疲労が生じるゴリラアーム現象 [17, 18, 19] が発生していると考えられる. また, 手の移動量が多いため, その分, 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

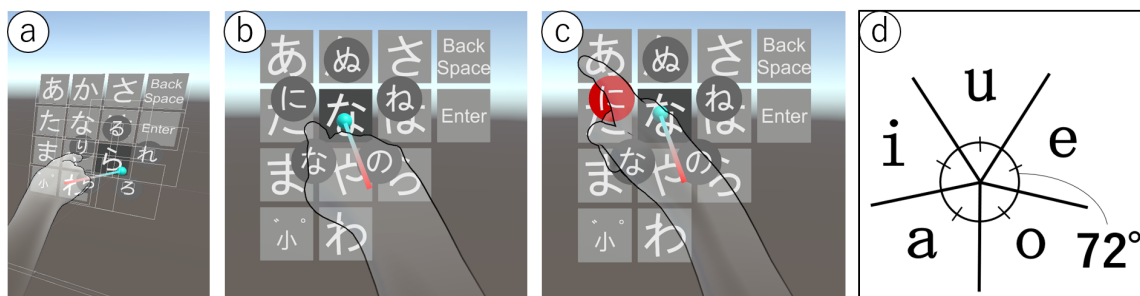


図 1.1: WristRayFlick の概要. 手首からキーボード平面の法線方向に放出されるレイ (a) によって子音選択 (本例では「な」) を行う (b). 次に, 人差し指を用いたフリック動作により母音選択 (本例では「に」) を行う (c). 選択される母音はフリック動作の角度によって異なる (d). なお, (d) は過去の研究 [1] における, フリック方向の判定に用いる角度範囲である. この角度範囲は 4 章における予備実験によって改良された.

減らすことによって, 疲労の軽減および文字入力的高速化が可能になると考えられる.

1.2 設計

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 1.1a) を用いた VR フリック入力手法である WristRayFlick [1, 20] を示す. 本手法において, ユーザは子音キーにレイを当てること (子音選択) により母音キー (図 1.1b) を表示し, その後, いずれかの母音キーの方向へ指先を動かす (図 1.1c) こと (フリック動作) により, フリック方向に対応するひらがなを入力できる. 前述の子音選択にレイを用いるという設計によって, 従来の VR フリック入力手法 [10, 14] とは異なり, ユーザが奥行き方向へ手を動かす必要はない. また, WristRayFlick においては, レイの始点が人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うと同時に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同様の, 指先を用いたフリック動作によって文字を入力できる.

1.3 貢献

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 を示した.
- 予備実験によって, フリック方向の判定に用いる角度範囲を決定した.
- 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入力速度が小さいことを示した.

- 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トータルエラー率が大きいことを示した。
- 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手の移動量が小さいことを示した。
- 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キーストローク間の経過時間が大きいことを示した。

1.4 本論文の構成

1章において、本研究の背景、提案手法の設計方針、および本研究の貢献を述べた。2章においては、本研究と関連する研究に対する本研究の位置づけを述べる。3章においては、提案手法であるWristRayFlickの文字入力方法および実装を述べる。4章においては、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ための予備実験について、その内容、実験結果、および分析結果を述べる。5章においては、WristRayFlick（提案手法）および従来のVRフリック入力手法（比較手法）の比較実験として実施した文字入力実験について、その内容、実験結果、および考察を述べる。6章においてはWristRayFlickについての議論、今後の課題、および展望を述べる。7章においては本研究の結論を述べる。

第2章 関連研究

ハンドトラッキングを用いた VR 向けのかな文字入力手法が研究されている。また、コントローラを用いたフリック入力手法が研究されている。本章においては、これらの研究に対する本研究の位置づけを述べる。

2.1 フリック入力に基づく VR 向けのかな文字入力手法

従来の VR フリック入力手法 [14] において、ユーザは指先を用いてキーに触れることによって子音を選択し、次に、子音キーの周りに表示された母音キーへと指先を移動した後、指を手前に引くことによって母音を選択できる。この手法に対して、手の移動量を減らすために奥行き方向への手の移動を別の動作によって代替した手法がある [11, 13]。

大石ら [13] は、VR フリック入力手法において指先をキーから離す動作を、親指を伸ばす動作によって代替したかな文字入力手法を提案した。この手法において、ユーザは人差し指でキーに触れることによって子音を選択する。その後、親指を曲げることによって、選択したキーの周りに母音のキーが展開される。ユーザは人差し指をキーボードと平行に移動させることによって母音を選択し、親指を伸ばすことによって文字を入力する。また、小澤ら [11] は、VR フリック入力手法において指先をキーに触れさせる動作を、指をつまむ動作によって代替したかな文字入力手法を提案した。この手法において、ユーザは指を用いてキーをつまむ動作によって子音を選択し、その後つまんだ指を上下左右に移動させることによって母音を選択し、入力文字を確定させる。これらの手法は奥行き方向の手の移動量を削減する一方で、ユーザがフリック動作とは異なる動作を行う必要がある。WristRayFlick においてユーザは、スマートフォンにおけるフリック入力と同様に指先を用いたフリック動作によって文字を入力できる。

2.2 フリック入力に基づかない VR 向けのかな文字入力手法

Komiya ら [9] はハンドトラッキングを用いた両手によるかな文字入力手法を提案した。この手法において、ユーザは両手の指を曲げ伸ばしすることによって、各指に対応付けられた子音を選択し、再び片手の指を曲げ伸ばしすることによって、各指に対応付けられた母音を選択する。また、山崎ら [21] は両手の動きによる母音および子音の組み合わせを用いたかな文字入力手法を提案した。この手法において、ユーザは右手の甲の回転によって子音を選択し、また、左手の指の曲げ伸ばしによって母音を選択する。これらの手法においてはユーザ

は両手を用いることが必須であるが、WristRayFlick は片手のみにて文字を入力することが可能である。また、WristRayFlick は、高速に入力が可能かつ既に慣れ親しまれているフリック入力に基づいている。

2.3 コントローラを用いたフリック入力手法

コントローラを用いてフリック入力を行った際の性能を示した研究がある [8, 22, 23, 24]. Takahashi らは、コントローラを用いた VR 向けのフリック入力手法である TouchFlick を提案している [22]. また、横山らは2つのジョイスティックがあるコントローラでのフリック入力手法である JoyFlick を提案している [23]. これらの手法において、スマートフォンにおけるフリック入力の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た。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あることによって、他の機器・環境におけるフリック入力の習熟が早くなると考えられる。WristRayFlick においては、スマートフォンにおけるフリック動作と同様に指先を用いたフリック入力を実現することによって、短時間での習熟および入力速度の高速化を目指す。

第3章 WristRayFlick

WristRayFlickの文字入力方法およびその実装を述べる。なお、WristRayFlickは左右いずれの手によっても用いることができる手法であるが、本論文においては右手によって用いることのみを想定している。

3.1 文字入力方法

WristRayFlickにおいて、ユーザは2段階（子音選択および母音選択）を経て文字を入力することができる。

ユーザは、手の付け根の座標からキーボード平面の法線方向に出たレイ（図 1.1a）をキーに当てることによって子音を選択することができる（図 1.1b）。ユーザに対して選択した子音を示す視覚フィードバックを与えるために、子音キーの色を、初期の状態においては明るい灰色とし、選択された状態においては暗い灰色とした。また、選択された子音キーの周囲に、そのキーに対応する5つの母音キーが表示される（図 1.1b）。

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 1.1c および d）。また、ユーザに対して選択した母音を示す視覚フィードバックを与えるために、母音キーの色を、初期の状態においては暗い灰色とし、選択された状態においては赤色とした。なお、この母音選択と同時に文字が入力される。

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）は、子音選択段階においてレイによってこれらのキーを選択し、次に母音選択段階において下方向のフリックを行うことによって入力できる。

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ルリング、および手の付け根の座標取得の実装を述べる。

なお、以降の節において述べる各種パラメータの値は、著者がより高速、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決定した。

Ultraleap社のStereo IR 170 Evaluation Kit [25]のようなハンドトラッキングデバイスを机上に設置することによって、HMDを使わずにWristRayFlickを使用することが可能である。しかし、本研究においては実装に際して、HMDであるMeta Quest 2 [2] およびこれに搭載された

ハンドトラッキング機能を用いた。この理由としては、ハンドトラッキングを用いた VR 向け文字入力手法に関する研究においては、HMD にハンドトラッキングデバイスを装着することが多いためである [26, 12]。著者が作製したアプリケーションにおいては、Meta Quest 2 の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を 30 Hz、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。

3.2.1 フリック動作の判定

WristRayFlick においては、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、これを瞬間速度として扱っている。この瞬間速度が秒速 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のベクトルを、キーボード平面に射影したベクトルの方向を角度に変換し、これをフリック動作の角度とする。この角度が、図 1.1d に示す各母音に対応する範囲のどれ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、母音選択段階におけるフリック動作の判定は、指先の速度が閾値を超えたかどうかによる。よって、ユーザが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判定されることがある。この意図しない入力を防ぐために、手首の速度が秒速 0.1 m を超えている状態においては、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指先をフリック動作以前の位置に戻す際にも、指先の速度が閾値を超えた場合にはフリック動作が行われたと判定される。この意図しない入力を防ぐために、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

ポインタは、手首から出たレイがキーボードに衝突した位置に表示される (図 1.1)。手首の移動量とポインタの移動量を等倍にした場合、子音選択の際に必要な以上の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 倍とすることによって、より少ない手首の移動によって子音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をそのまま用いるのではなく、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をする際に、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るという現象が発生する。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することによって、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そのまま利用せず、代わりに 8 サンプル分の座標の移動平均を用いる。これにより、フリック動作の際に前述した手の付け根の座標の振動が軽減したため、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。

第4章 予備実験

本章においては、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。本論文における角度範囲とは、フリック角度が0から360°のうちどこからどこまでの範囲に入っていた場合にどの母音だと判定するのか、という対応のことである。過去の研究 [1] においては、図 1.1d のように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。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を適用するほうが、誤入力が増減すると考えられる。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し、そ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

実験参加者は、著者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名である。全ての実験参加者は右利きであり、また、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としては 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によって、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、その座標データを後の分析に用いた。

4.2 実験内容

実験アプリケーションにおいては、WristRayFlick における5つの母音キーの展開方向と同じ5方向に、フリック方向指示用の円が表示される (図 4.1)。実験が開始されると、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、円の色が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 4.1 における青色の球) を、中央の円の中に入れてから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。赤い円の方向へ1回フリックすることを1試行、また、5方向すべてへのフリック (5試行) を1セットとし、実験参加者1名あたり21セット (105試行) を実施した。なお、フリック方向を提示する順序は各セットごとにランダムとした。

実験参加者に対しては、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、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

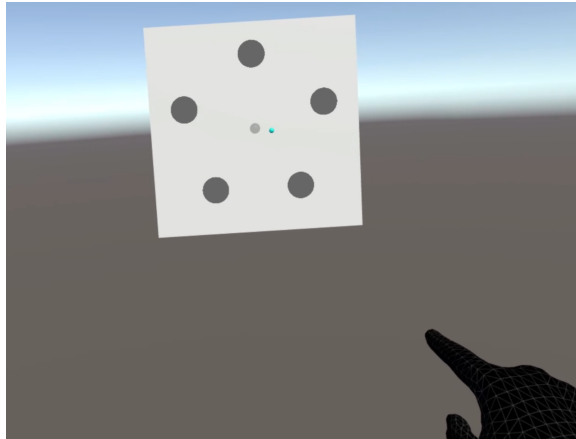


図 4.1: 予備実験アプリケーション画面. フリック方向を指示するための5つの円が表示されている. 青色の球は, 手の付け根の座標に対応して動くポインタである.

指示した. これは, WristRayFlick は左右いずれの手でも用いることができる手法であるが, 新たな角度範囲を決定する段階においてはいずれか片方の手について最適化された角度範囲を求めるべきであるためである. また, 実験参加者に対しては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, 実験参加者の各試行について, 3.2.1 節において述べた方法を用い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, 外れ値検出アルゴリズムである LOF[27] を用いて, フリック動作の角度のデータの外れ値を除去した. 図 4.2 および 4.3 は外れ値を除去した後の全てのデータをプロットした図である.

次に, 5通りの隣り合う領域 (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. 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する (図 4.4) という手順によって, 境界を決定した. この境界を元に決定した, 各フリック方向ごとの新たな角度範囲を図 4.5 に示す. 以降の章では, フリック方向を判定するために, この角度範囲を用いる.

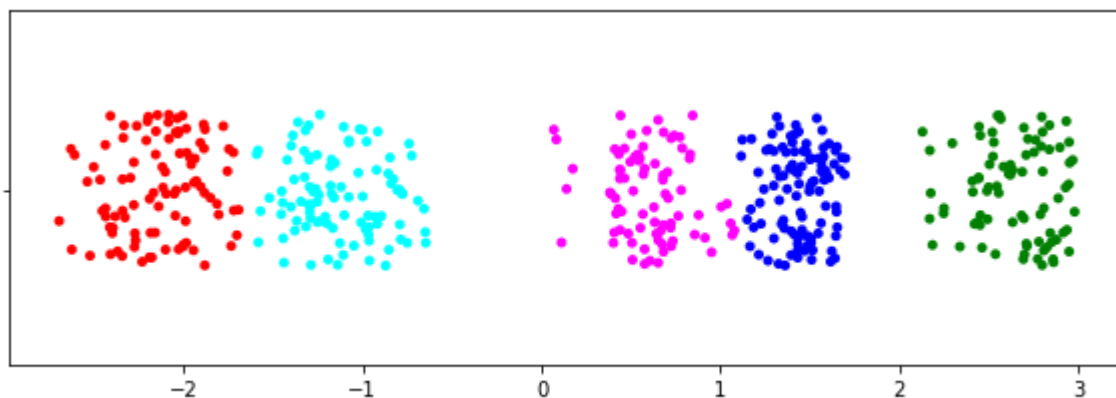


図 4.2: 実験において収集された, フリック動作の角度の分布図. 横軸は, 水平右向きを 0 ラジアンとしたときのフリック動作の角度 (ラジアン) である. なお, 各データに対応する点は, 重複しないように縦方向に分散してプロットされている. 赤色の点は母音 a, 水色の点は母音 o, 紫色の点は母音 e, 青色の点は母音 u, 緑色の点は母音 i に対応する指示円のある方向に, 実験参加者がフリックした際の角度データである.

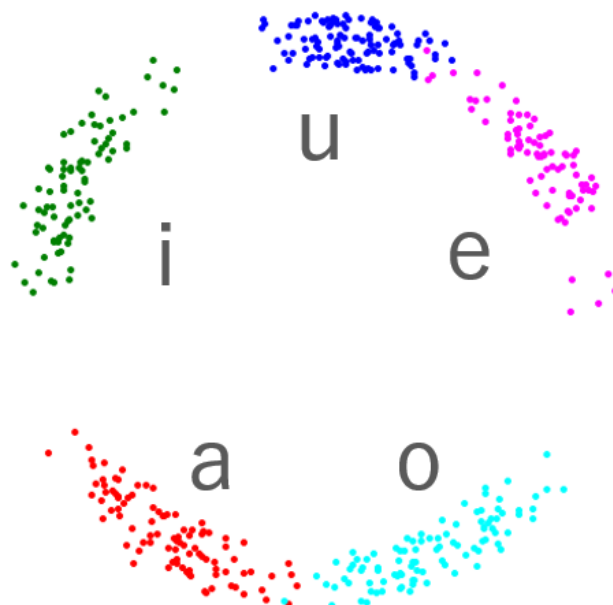


図 4.3: 図 4.2 の各点を円形にプロットした.

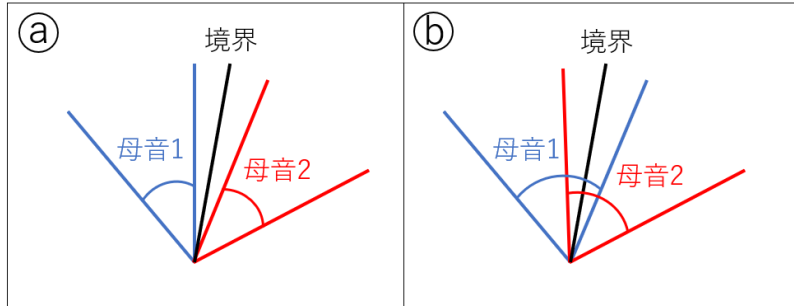


図 4.4: 新たな境界の決定方法. 2つの母音それぞれに対応する 99%信頼区間が重ならない場合 (a) および重なる場合 (b) がある. いずれの場合も信頼区間の端の中間を新たな境界とする.

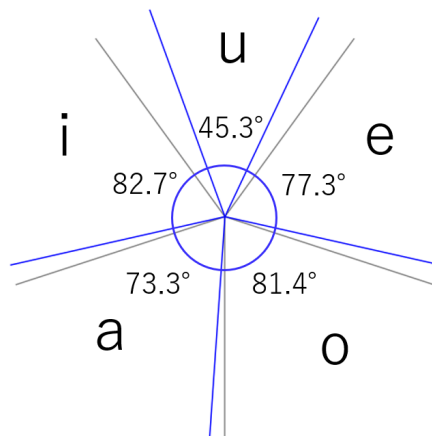


図 4.5: 予備実験によって決定した, 各母音に対応する新たな角度範囲. 灰色の直線は角度範囲をすべて等しく 72° とした場合の境界線であり, 青色の直線は予備実験によって新たに決定した境界線である.

第5章 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 [28]、手の移動量、キーストローク間の経過時間、SUS [29]、および NASA-TLX [30] のスコアを測定する比較実験について述べる。

5.1 比較手法

比較手法である VR フリック入力手法による文字入力方法を述べる。比較手法としてこの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 と共通するためである。また、この手法は先行研究 [14] を参考に実装した。

5.1.1 子音選択

ユーザが人差し指の指先をキーより奥に動かすことによって、子音が選択された状態になる（図 5.1）。また、ユーザに対して、選択した子音を示す視覚フィードバックを与えるために、キーの色は初期の状態を明るい灰色とし、選択された場合に暗い灰色に変化する。また、選択されたキーの周りに、そのキーに対応する 4 つの母音のキーが展開される（図 5.1）。

5.1.2 母音選択

人差し指の指先がキーボードの奥にある状態（子音選択状態）を保ちながら、図 5.2 に示す各母音に対応した領域に人差し指の指先を移動させることによって、母音を選択する（図 5.3）。ユーザは母音を選択した後、人差し指の指先をキーボードより手前に動かすことにより、文字を入力することができる。また、ユーザに対して、選択した母音を示す視覚フィードバックを与えるために、母音 i, u, e, および o に対応するキーの色は初期の状態を暗い灰色とし、選択された場合に赤色に変化させた。ただし、母音 a に対応するキー（子音選択を行っていない状態のキーボードにおいて既に表示されているキー）については、選択状態であっても視覚フィードバックは行われない。



図 5.1: VR フリック入力手法において子音選択をする様子. 「な」のキーが選択されている.

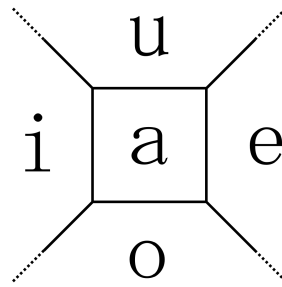


図 5.2: キーとその外側における, 各母音に対応した領域. 母音 a はキー上の領域に対応し, その他の母音はキーの外側を 4 分割した領域に対応する.



図 5.3: VR フリック入力手法において母音選択をする様子. 「に」のキーが選択されている. この状態から指先をキーボードの手前に移動させることによって「に」が入力される.

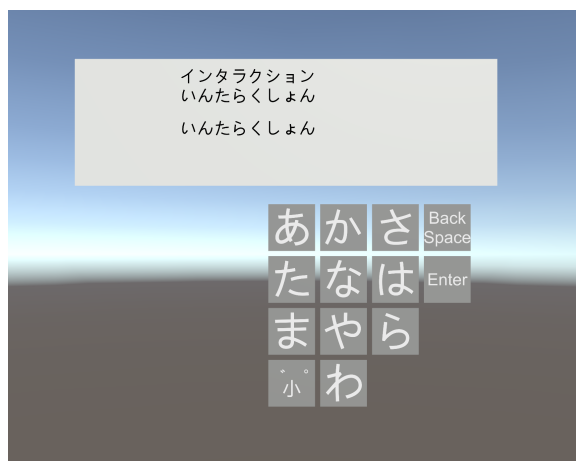


図 5.4: 実験において使用した文字入力システムの UI.

5.2 実験参加者

実験参加者は、著者と同じ研究室に所属している 22 から 24 歳 ($M = 23.1$ 歳, $SD = 0.8$ 歳) の大学生および大学院生 12 名とした。全ての実験参加者は右利きであった。また、実験参加者のうち、11 名が男性であり、1 名が女性であった。フリック入力の使用頻度については、10 名が「いつも使う」、1 名が「よく使う」、1 名が「全く使わない」と回答した。また、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 6 名、WristRayFlick のみを使用した経験のある実験参加者が 1 名、VR フリック入力手法のみを使用した経験のある実験参加者が 1 名おり、他の 4 名は両手法とも使用した経験はなかった。なお、予備実験の参加者のうち、4 名が本実験の参加者に含まれていた。

5.3 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によって、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の UI を図 5.4 に示す。提案手法および比較手法の両方において、テキストボックスおよびキーボードは床面に垂直であり、各手法ごとに著者が最も文字入力タスクを行いやすい位置に配置した。具体的に述べると、右利きである著者が入力しやすいように、両手法においてキーボードの位置はテキストボックスの真下ではなく右寄りに配置されている。なお、実験参加者は右手を用いて両手法を使用する。また、比較手法におけるキーボードは、ユーザの手が届きやすいように、提案手法におけるキーボードに比べてユーザの近くに配置されており、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ている。

5.4 実験内容

実験参加者は最初にアンケートに回答した。アンケートの項目は、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であった。次に実験参加者はHMD (Meta Quest 2) を装着し、イスに座った状態において文字入力タスクを実施した。このとき、実験参加者はイスの高さおよび位置を自由に調整することができた。また、実験参加者に対して、右手を用いて文字入力タスクを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（練習セッションおよび本番セッション）が含まれる。各セッションの内容を以下に示す。まず練習セッションにおいて、実験参加者は28文の短文（合計289文字）からなる練習文を入力した。練習セッション終了後、実験参加者は本番セッションとして、練習文とは異なる24文の短文（合計167文字）からなる課題文を入力した。練習文および課題文としては、横山ら [23] 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（表A.1およびA.2）を用いた。なお、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終了後、そのセッションにおいて使用した手法について、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カウンターバランスをとるために、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した。練習文および課題文は、いずれの実験参加者および入力手法においてもそれぞれ共通のセットが用いられた。ただし、短文の出題順序はセッションごとにランダムであった。

5.5 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、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、また、統計解析を行った結果を示す。なお、統計解析において有意水準は0.05とした。

5.5.1 入力速度

入力速度 (CPM) の平均は、WristRayFlickが35.1 ($SD = 11.3$)、VRフリック入力手法が58.3 ($SD = 21.9$)であった。ウィルコクソンの符号付順位検定を行った結果、これらの平均値の間には有意差が示された ($p < 2.2 \times 10^{-16}$, $d = 0.66$)。

5.5.2 トータルエラー率

トータルエラー率の平均は、WristRayFlickが11.5% ($SD = 14.0\%$)、VRフリック入力手法が8.9% ($SD = 12.4\%$)であった。ウィルコクソンの符号付順位検定を行った結果、これらの平均値の間には有意差が示された ($p = 0.0080$, $d = -0.095$)。

5.5.3 手の移動量

実験中、実験参加者の手の付け根の座標を 60Hz のサンプリングレートで取得した。取得した各サンプルについて 1 つ前のサンプルとの距離を求め、そ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 33.1 m ($SD = 5.5$ m), VR フリック入力手法が 60.2 m ($SD = 12.3$ 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 ($p = 2.5 \times 10^{-5}$, $d = -2.8$)。

5.5.4 キーストローク間の経過時間

本論文において、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。本実験において、実験参加者が行ったキーストロークおよびそのタイムスタンプをデータとして収集した。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 1208 ミリ秒 ($SD = 260$ ミリ秒), VR フリック入力手法が 791 ミリ秒 ($SD = 275$ ミリ秒) であった。ウィルコクソンの符号付順位検定を行った結果、これらの平均値の間には有意差が示された ($p < 2.2 \times 10^{-16}$, $d = -0.79$)。

5.5.5 SUS スコア

SUS スコアの平均は、WristRayFlick が 75.6 ($SD = 5.0$), VR フリック入力手法が 74.8 ($SD = 4.5$) 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 ($p = 0.64$, $d = -0.18$)。

5.5.6 NASA-TLX スコア

WristRayFlick および VR フリック入力手法における身体的な疲労の度合いを調査するため、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 72.9 ($SD = 13.9$), VR フリック入力手法が 80.4 ($SD = 13.4$) であった。ウィルコクソンの符号付順位検定を行った結果、これらの平均値の間には有意差が示されなかった ($p = 0.15$, $d = 0.35$)。

5.6 考察

WristRayFlick の CPM は VR フリック入力手法の CPM の 0.60 倍であった。また、トータルエラー率は WristRayFlick の方が 2.5 % 大きく、さらに、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 1.53 倍であった。このことから、WristRayFlick の方が入力ミスが多く、かつキーストロークに要する時間が長かったため、VR フリック入力手法より文字入力速度が遅くなったと考えられる。

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。しかし、NASA-TLX における身体的要求のスコアについては有意差が示されなかったため、WristRayFlick の方が主観的な身体的疲労の度合いが小さかったとは必ずしも言えない。

また、SUS スコアについては有意差が示されなかったため、WristRayFlick の方がユーザビリティの観点から優れているとは必ずしも言えない。

第6章 議論, 今後の課題, および展望

本章では, 実験についての議論, 今後の課題, および展望を述べる.

6.1 予備実験の制約

4章における予備実験においては, 参加者はイスに座った状態においてタスクを実施した. しかし, 例えばユーザが直立した状態など, 他の姿勢においては予備実験の結果が変わる可能性がある. そのため, 予備実験において決定した角度範囲は, イスに座った状態以外の姿勢において適切でない可能性がある.

また, 予備実験において, 参加者は一か所のみをポインティングした状態においてフリックするタスクを実施した. しかし, 実際に WristRayFlick を用いて文字を入力する際には, 12個の子音キーのいずれかをポインティングした状態においてフリックをすることになる. その際, フリック動作前の指および手首の関節の角度が予備実験の際と大きく異なる状態においてフリックをする可能性がある. よって, 予備実験において決定した角度範囲は, 実際の文字入力に適していない可能性がある.

6.2 追加実験

今後の課題として, 追加の文字入力実験を行う必要性が挙げられる.

5章における実験は, 実験参加者が少ないため, 結果および検定精度の信頼度が低い. よって, 5章における実験をより多くの参加者を対象として実施することが必要である.

また, 文字入力についての研究においては, 長期実験を行うことによって, 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 [9, 31]. 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 に習熟することによって, 文字入力性能の改善が見込める. そのため, 長期にわたる性能調査を実施する必要がある.

また, 従来の角度範囲および4章における予備実験において決定した角度範囲の比較は行っていない. 新たな角度範囲の方が高速かつ疲れにくい文字入力に適しているということを明らかにするため, これらの角度範囲を採用した場合の文字入力性能を比較する必要がある.

以上の理由により、今後は実験参加者および比較手法を追加した長期実験を行う必要がある。

6.3 WristRayFlick のさらなる改良

WristRayFlick には改良の余地がある。本節においては文字入力的高速化のための改良について述べる。

6.3.1 フリック動作の判定方法による改良

5章における実験の際に、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見られた。この問題によって5.6節において述べたキーストロークに要する時間の差が生じたことによって、WristRayFlick の入力速度が従来の VR フリック入力手法より小さいという実験結果になったと考えられる。そこで今後は、入力に要する時間が大きいキーストロークを調査することによって、入力しにくい子音キーおよび母音キーの組み合わせを明らかにする。そして、その調査結果を元に、3.2節において述べた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。

6.3.2 フリック方向の削減

現状の WristRayFlick においては、すべての母音をフリック動作によって選択できるようにする目的で、フリック方向を5方向としている。一方、一般的なフリックキーボードにおいては、フリック方向は上下左右の4方向である。この違いが入力速度に影響を与えている可能性がある。よって、今後は WristRayFlick においてフリック動作とは異なる動作によって母音 a の選択を行うことを検討する。

6.3.3 新たなジェスチャの導入による改良

WristRayFlick において、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ことによって入力速度が速くなると考えられる。

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、文字を削除する際に、ユーザがレイをバックスペースキーに当てて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た後、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というように、2回のキーストローク

クを行う必要がある。しかし、この改良によって1回のキーストロークによって「が」を入力できるようになる。

6.4 WristRayFlickのさらなる活用方法

WristRayFlickにおいては、手首を始点としたレイを用いるという設計により、子音キーの選択状態において人差し指を自由に動かせる。そのため、WristRayFlickにおいて母音選択に用いているフリック動作を、文字入力以外の様々な入力にも活用できる。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という操作によって、そのフリック方向に対応したコマンドを実行するという活用方法が考えられるが、これによってマーキングメニュー [32] を VR 空間において実装できる。今後は、このような活用方法によって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。

第7章 結論

本研究においては、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 を提案した。また、予備実験によって、フリック方向の判定に用いる角度範囲を決定した。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入力速度および手の移動量が小さいこと、および、トータルエラー率およびキーストローク間の経過時間が大きいことを示した。今後は、追加実験による性能調査、文字入力的高速化のための改良、および文字入力以外の使途の探求を行う。

謝辞

本研究を進めるにあたって、指導教員である志築文太郎先生、川口一画先生、および高橋伸先生には大変お世話になりました。特に志築文太郎先生には研究方針、文章の書き方、および研究生活などについて、多くの助言を頂きました。心より感謝申し上げます。

また、横山海青氏および磯本俊弥氏には、共著者として、研究方針および論文の書き方について多くの助言を頂き、加えて執筆に協力していただきました。特に横山海青氏には、メンターとして研究生活における様々な事柄を教示していただきました。重ねて感謝申し上げます。

また、実験の実施に際して、長時間の拘束を厭わず多くの参加者の方に協力していただきました。重ねて感謝申し上げます。

最後に、著者の生活を金銭面において全面的に支えてくれた家族に対して、深く感謝いたします。

業績リスト

本論文に関する業績

- 査読なし国内会議論文
 - 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, 日本ソフトウェア科学会, 2022 年 12 月, 3 pages.
 - 井口凌輔, 横山海青, 志築文太郎. 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. 情報処理学会研究報告, Vol. 2023-HCI201, No. 14, 情報処理学会, 2023 年 1 月, 7 pages.

その他の業績

- 国内会議デモ・ポスター発表
 - 西川宜利, 野崎陽奈子, 井口凌輔, 新由衣, 橋本悠希, 志築文太郎. サーモクロミック色漆を用いたインタラクティブに模様が変わるおぼん型アプリケーションの試作. 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), 日本ソフトウェア科学会.

参考文献

- [1] 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. 日本ソフトウェア科学会, 2022.
- [2] Facebook Inc. Meta Quest VR ヘッドセット、アクセサリ、機器 | Meta Quest. <https://www.meta.com/jp/quest/>. 最終確認日：2023 年 1 月 26 日.
- [3] PICO Technology Japan. PICO 4 All-In-One VR Headset | PICO Japan. <https://www.picoxr.com/jp/products/pico4>. 最終確認日：2023 年 1 月 26 日.
- [4] HTC Corporation. VIVE Pro Eye 概要 | VIVE 日本. <https://www.vive.com/jp/product/vive-pro-eye/overview/>. 最終確認日：2023 年 1 月 26 日.
- [5] VRChat Inc. VRChat. <https://hello.vrchat.com/>. 最終確認日：2023 年 1 月 26 日.
- [6] Marco Speicher, Anna Maria Feit, Pascal Ziegler, and Antonio Krüger. Selection-based Text Entry in Virtual Reality. In Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '18, pp. 1–13, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [7] Anh Nguyen, Samuel Bittman, and Markus Zank. Text Input Methods in Virtual Reality using Radial Layouts. In 26th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST '20, pp. 1–3, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [8] 竹永正輝, 橋本直. 片手持ち VR コントローラのための日本語入力 UI の提案. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2019 論文集, pp. 12–16. 情報処理学会, 2019.
- [9] Kosuke Komiya and Tatsuo Nakajima. A New Japanese Input Method for Virtual Reality Applications. In Masaaki Kurosu, editor, Human-Computer Interaction. Interaction Technologies, pp. 43–55. Springer International Publishing, 2018.
- [10] 喜多修太郎, 小倉加奈代, Bista Bhed Bahadur, 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.
- [11] 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. 情報処理学会, 2015.

- [12] 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. ヒューマンインタフェース学会, 2019.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Naoko Nagasawa. How Japanese University Students Type on Smartphone and PC. Computer & Education, Vol. 43, pp. 67–72, 2017.
- [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] Sebastian Boring, Marko Jurmu, and Andreas Butz. Scroll, Tilt or Move It: Using Mobile Phones to Continuously Control Pointers on Large Public Displays. In Proceedings of the 21st Annual Conference of the Australian Computer-Human Interaction Special Interest Group, pp. 161–168, 2009.
- [18] Juan David Hincapié-Ramos, Xiang Guo, Paymahn Moghadasian, and Pourang Irani. Consumed Endurance: A Metric to Quantify Arm Fatigue of Mid–Air Interactions. In Proceedings of the 2014 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1063–1072, 2014.
- [19] Sujin Jang, Wolfgang Stuerzlinger, Satyajit Ambike, and Karthik Ramani. Modeling Cumulative Arm Fatigue in Mid-Air Interaction based on Perceived Exertion and Kinetics of Arm Motion. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 3328–3339, 2017.
- [20] 井口凌輔, 横山海青, 志築文太郎. 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. 情報処理学会研究報告, Vol. 2023-HCI-201, No. 14, pp. 1–7, 2023.
- [21] 山崎宏樹, 渡辺大地. 両手の動きによる母音と子音の組み合わせを用いた仮名文字入力手法の研究. 東京工科大学メディア学部 2017 年度卒業論文, pp. 1–29, 2018.
- [22] Ryota Takahashi, Shizuka Shirai, Jason Orlosky, Yuki Uranishi, and Haruo Takemura. A Japanese Character Flick-Input Interface for Entering Text in VR. In 2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct), pp. 251–253, 2021.
- [23] 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.

- [24] 阿部広河, 真鍋宏幸. VR コントローラを用いた寝ながら快適に文字入力が行える手法の提案. インタラクション 2022 論文集, pp. 497–501. 情報処理学会, 2022.
- [25] Ultraleap. Tracking | Ultraleap Stereo IR 170 Evaluation Kit | Ultraleap. <https://www.ultraleap.com/product/stereo-ir-170/>. 最終確認日: 2023 年 1 月 26 日.
- [26] Yang Zhang, Wolf Kienzle, Yanjun Ma, Shiu S. Ng, Hrvoje Benko, and Chris Harrison. ActiTouch: Robust Touch Detection for On-Skin AR/VR Interfaces. In Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '19, pp. 1151–1159, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [27] Markus M. Breunig, Hans-Peter Kriegel, Raymond T. Ng, and Jörg Sander. LOF: Identifying Density-Based Local Outliers. In ACM SIGMOD Record, Vol. 29, pp. 93–104, New York, NY, USA, 2000. Association for Computing Machinery.
- [28] Ahmed Sabbir Arif and Wolfgang Stuerzlinger. Analysis of Text Entry Performance Metrics. In 2009 IEEE Toronto International Conference Science and Technology for Humanity, pp. 100–105. IEEE, 2009.
- [29] John Brooke. SUS: A Quick and Dirty Usability Scale. Usability Evaluation in Industry, pp. 189–194, 1996.
- [30] Sandra G. Hart and Lowell E. Staveland. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. Advances in Psychology, Vol. 52, pp. 139–183, 1988.
- [31] Kaisei Yokoyama, Rei Takakura, and Buntarou Shizuki. JoyFlick: Japanese Text Entry Using Dual Joysticks for Flick Input Users. In Carmelo Ardito, Rosa Lanzilotti, Alessio Malizia, Helen Petrie, Antonio Piccinno, Giuseppe Desolda, and Kori Inkpen, editors, Human-Computer Interaction – INTERACT 2021, pp. 107–125. Springer International Publishing, 2021.
- [32] Gordon Paul Kurtenbach. The Design and Evaluation of Marking Menus. PhD thesis, Toronto, Ont., Canada, Canada, 1993. UMI Order No. GAXNN-82896.

付録A 実験において用いた練習文・課題文

表 A.1: 実験において用いた練習文

| 漢字を含む文 | 実験参加者が入力する文 |
|-----------|-------------|
| ありがとう | ありがとう |
| ガバエイムじゃん | がぼえいむじゃん |
| 投げ物使い切った | なげものつかいきった |
| 弾がない | たまがない |
| 敵がいる | てきがいる |
| 今日はラグい | きょうはらぐい |
| あれ撃って | あれうって |
| 回復してる | かいふくしてる |
| 蘇生する | そせいする |
| 足音がする | あしおとがする |
| 安地が遠い | あんちがとおい |
| 高台取ろう | たかだいとろう |
| Uber Eats | うーばーいーつ |
| 銃口曲がってる | じゅうこうまがってる |
| ケチり過ぎた | けちりすぎた |
| スマブラに勝った | すまぶらにかった |
| 夜は勝てない | よるはかてない |
| 眠過ぎ | ねむすぎ |
| 回線悪い | かいせんわるい |
| 面目ない | めんぼくない |
| 目が悪くて見えん | めがわるくてみえん |
| 飯抜けします | めしぬけします |
| 流石にヤバい | さすがにやばい |
| リコイル制御 | りこいるせいぎょ |
| 練習してきた | れんしゅうしてきた |
| 放っとけ | ほっとけ |
| 一人減らした | ひとりへらした |
| グッドキル | ぐっどきる |

表 A.2: 実験において用いた課題文

| 漢字を含む文 | 実験参加者が入力する文 |
|----------|-------------|
| 了解です | りょうかいです |
| ごめんなさい | ごめんなさい |
| わかりました | わかりました |
| やっぱりいいわ | やっぱりいいわ |
| ちょっと待って | ちょっとまって |
| 先に食べて | さきにたべて |
| 今出先です | いまでさきです |
| 少し遅れます | すこしおくれます |
| 筑波にいます | つくばにいます |
| 会議中 | かいぎちゅう |
| すぐに行きます | すぐにいきます |
| お風呂はいいや | おふろはいいや |
| インタラクション | いんたらくしょん |
| 筑波大学 | つくばだいがく |
| レポート締め切り | れぽーとしめきり |
| 会議資料 | かいぎしりょう |
| 資料印刷 | しりょういんさつ |
| 水道代 | すいどうだい |
| 午後休講 | ごごきゅうこう |
| 明日は休み | あしたはやすみ |
| おやすみなさい | おやすみなさい |
| ビデオ返却 | びでおへんきゃく |
| 論文読む | ろんぶんよむ |
| 土曜飲み会 | どようのみかい |

付録B 実験において用いたアンケート

実験において用いた事前アンケート画面および手法ごとのアンケート画面を示す。

B.1 事前アンケート

実験前アンケート

Google にログインすると作業内容を保存できます。 [詳細](#)

*必須

メールアドレス *

メールアドレス _____

次へ

フォームをクリア

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング
研究室 内部で作成されました。 [不正行為の報告](#)

Google フォーム

実験前アンケート

Google にログインすると作業内容を保存できます。詳細

*必須

基本情報の入力

年齢 *

回答を入力

性別 *

- 男性
 女性

利き手 *

- 右利き
 左利き
 両利き

フリック入力の使用頻度 *

- いつも使う
 よく使う
 たまに使う
 ほとんど使わない
 全く使わない

戻る

送信

フォームをクリア

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング研究室 内部で作成されました。不正行為の報告

Google フォーム

B.2 手法ごとのアンケート

手法ごとのアンケートについては、設問が両手法において共通しているため、提案手法についてのアンケート画面のみ示す。

【入力手法アンケート】実験後アンケート ト（提案手法）

Google にログインすると作業内容を保存できます。 [詳細](#)

*必須

メールアドレス *

メールアドレス

次へ

フォームをクリア

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング
研究室 内即で作成されました。不正行為の報告

Google フォーム

【入力手法アンケート】実験後アンケート ト（提案手法）

Google にログインすると作業内容を保存できます。 [詳細](#)

*必須

今回使用した入力手法（提案手法）について

このシステムをしばしば使いたいと思う *

| | | | | | | |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| まったく思わない | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | そう思う |

このシステムは不必要なほど複雑であると感じた *

| | | | | | | |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| まったく思わない | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | そう思う |

このシステムは容易に使えると思った *

| | | | | | | |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| まったく思わない | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | そう思う |

このシステムを使うのに技術専門家のサポートを必要とするかもしれない *

1 2 3 4 5
まったく思わない そう思う

このシステムにある様々な機能がよくまとまっていると感じた *

1 2 3 4 5
まったく思わない そう思う

このシステムでは、一貫性のないところが多くあったと思った *

1 2 3 4 5
まったく思わない そう思う

たいていのユーザは、このシステムの使用方法について、素早く学べるだろう *

1 2 3 4 5
まったく思わない そう思う

このシステムは扱いにくいと思った *

1 2 3 4 5
まったく思わない そう思う

このシステムを使うのに自信があると感じた *

1 2 3 4 5
まったく思わない そう思う

このシステムを使い始める前に多くのことを学ぶ必要があった *

1 2 3 4 5
まったく思わない そう思う

このシステムを使うと腕が疲れる *

1 2 3 4 5
まったく思わない そう思う

このシステムの良い点・悪い点・改善案・感想など

回答を入力

[戻る](#)

[送信](#)

[フォームをクリア](#)

Google フォームでパスワードを送信しないでください。

このフォームは 筑波大学システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻インタラクティブプログラミング研究室 内部で作成されました。 [不正行為の報告](#)

Google フォーム