

# HMD 前面を用いた VR 用フリック文字入力手法の予備評価

山口 泰生<sup>1,a)</sup> 西川 宜利<sup>1</sup> 志築 文太郎<sup>2</sup>

**概要:** VR においてテキストチャット、メール、および検索など文字入力が必要とする場面が多くある。現在の VR における文字入力手法として、ハンドトラッキングによる手を用いた仮想キーボードに対する文字入力手法がある。特に、かな文字入力に関しては、QWERTY キーボードよりもフリックキーボードが適していることがわかっており、VR 環境向けのフリック入力手法が開発されている。しかし、仮想キーボードではキーに触れた際に触覚フィードバックを得ることができない。これまでの研究により、触覚フィードバックが得られることによって、文字の入力速度、および入力精度が向上することが示されている。そこで、HMD の前面を仮想キーボードの入力面とし、触覚フィードバックを得ながらフリック入力を行う文字入力手法を提案する。本研究では、提案手法の入力速度と精度を比較実験を通じて評価する。

## 1. はじめに

Virtual Reality (VR) において、テキストチャット、電子メール、検索、パスワード入力などのさまざまな場面で文字入力が行われている。VR における文字入力にはコントローラが用いられてきたが、近年ではハンドトラッキング技術の進歩に伴い、手の動作のみによる文字入力が用いられるようになった。このようなハンドトラッキング技術を用いた文字入力手法においては、ピンチおよび把持ジェスチャなどを用いる手法 [3], [13], 特殊なキーボードによって文字入力を行う手法 [11], また、仮想キーボードを用いた、QWERTY キーボード入力およびフリック入力のような実在する入力方式を模した文字入力手法 [14], [17], [22], [23], [24] が提案されてきた。中でも、実在する入力方式を模した文字入力手法はユーザにとって馴染みがあるため、ジェスチャおよび特殊なキーボードを用いる文字入力と比較して、入力操作に慣れるまでの時間が短いという利点がある。

また、VR における仮想キーボードを用いた日本語のかな文字入力においては、QWERTY キーボードによる入力よりもフリック入力が適しているとされる [12]。これはフリック入力が QWERTY キーボードによる入力と比べて、文字入力に必要なキー入力回数が少なく、また、一つのキーサイズが大きいことにより正確に入力しやすいからである [12], [21], [24]。

ただし、仮想キーボードを用いたフリック入力は物理的

なタッチ面を用いたスマートフォンにおけるフリック入力とは異なり、フリック入力の際のキーのタッチおよびフリックを一つの動作にて行うことができない。VR における仮想キーボードを用いたフリック入力（以降、VR フリック入力）手法では物理的なタッチ面がないため、キーへのタッチを視覚および聴覚フィードバックによって確認してから指をフリックするという動作が行われる。これによって、仮想キーボードを用いたフリック入力はスマートフォンにおけるフリック入力と比べて文字入力の速度、正確さ、および使いやすさが低下する可能性がある。そのため、物理的なタッチ面を VR フリック入力の仮想キーボードの入力面として用いる手法 [12], [18], [20] が提案された。しかし、これらの手法ではハンドトラッキングの誤認識、もしくは仮想キーボードと入力面のズレによって正確な文字入力ができなかった。

そこで、我々は、Head-Mounted Display (HMD) の前面を仮想キーボードの物理的なタッチ面として利用する入力方式 [6], [10] に着目し、これをもとに HMD の前面をフリック入力の入力面とした VR フリック入力手法である FaceFlick を提案する。この入力手法はハンドトラッキングの正確さに影響されず、かつ物理的なタッチ面を用いたフリック文字入力を行うことができる。

本研究の貢献を以下に示す。

- ハンドトラッキングの性能に影響されず、物理的なタッチ面を用いた VR フリック入力手法を示した。
- 比較実験において、HMD の前面を用いたフリック文字入力が従来の VR フリック入力手法より CPM, NASA-TLX および SUS のスコアが有意に高いことを

<sup>1</sup> 筑波大学 情報理工学位プログラム

<sup>2</sup> 筑波大学 システム情報系

<sup>a)</sup> yamaguchi@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

示した。

## 2. 関連研究

本節では FaceFlick と関連する VR フリック入力手法、物理的なタッチ面を用いた VR フリック入力手法、および HMD に取り付けられたデバイスを用いて入力を行う手法を述べる。

### 2.1 VR フリック入力手法

喜多ら [16] は VR 内における文字入力手法として、仮想の QWERTY キーボードによる文字入力と VR フリック入力の入力性能を比較した。この研究において、仮想の QWERTY キーボードによる文字入力は VR フリック入力よりも VR における文字入力に適しているとしたが、アンケート調査によると VR における文字入力に VR フリック入力を利用したいという回答が多かった。また、この結果は入力時の視覚および聴覚フィードバックの欠如が影響した可能性があるとも述べられている。

福仲ら [24] は VR フリック入力におけるキーへのタッチの際に、キーに触れたことを示す視覚フィードバックを付与する手法を示した。比較実験の結果、VR における文字入力において、この手法による文字入力はコントローラを用いた QWERTY キーボードによる文字入力に対して、有意差はなかったものの同程度以上の入力速度であり、誤入力については平均値が約 4.6 倍であった。

小澤ら [17] は VR フリック入力におけるキー選択を、タッチの代わりにピンチジェスチャによって行う手法を提案した。この手法ではキーを選択するタイミングをピンチジェスチャによって把握できるが、仮想キーボードのキーに触れているかの触覚フィードバックを得られていない。

FaceFlick はこれらの手法と異なり、物理的なタッチ面を用いるため、フリック入力の際のキーのタッチおよびフリックを一つの動作にて行うことができる。

### 2.2 物理的なタッチ面を用いた VR フリック入力手法

川口ら [20] および Ogitani ら [12] は非利き手の掌に表示した仮想のフリックキーボードを利き手の人差し指によって操作する手法を示した。この手法はフリックキーボードを表示する手が入力する手と重なることによる手形状の誤認識により、従来の VR フリック入力手法と比較して入力速度および入力精度が低かった。

清原ら [18] は非利き手に装着したタッチデバイスを用いてフリック入力をするという手法を提案した。この手法では VR に表示される仮想フリックキーボードと入力に用いるタッチデバイスのズレにより、従来の VR フリック入力手法と比較して入力速度および入力精度が低かった。

これらの手法ではハンドトラッキングの誤認識により文

字入力性能が低下する。また、タッチデバイスを手に取り付ける必要がある。FaceFlick は、タッチ面が HMD の前面であるためデバイスの把持を必要とせず、片手のみによる文字入力ができる。また、ハンドトラッキングを用いないため、ハンドトラッキングの性能に影響されない。

### 2.3 HMD に取り付けられた入力デバイスを用いる入力手法

Gugenheimer ら [6] および Lee ら [10] は HMD の前面に取り付けたタッチデバイスを用いた入力手法を示した。これらの研究では、HMD の前面を用いた入力手法における VR 内に表示されるタッチデバイスの表示位置および入力の特性が調査された。

Hutama ら [9] は左右に分割した物理的な QWERTY キーボードを HMD の両側に取り付けたデバイスを用いて文字入力を行う手法を示した。

Grossman ら [4] はスマートグラスの柄を文字入力用のタッチ面として文字入力を行う手法を示した。

これらの手法において、ユーザの手はトラッキングされていないため、ユーザが入力を行う際は固有感覚およびキーボードに触れた際の触覚を頼りにしている。FaceFlick についても、HMD の前面に取り付けたタッチデバイスを用いたフリック入力は、これらの手法と同様にユーザの固有感覚 [25] に従って行われる。

## 3. FaceFlick：HMD 前面を用いた VR 用フリック文字入力手法

FaceFlick の文字入力方法および実装を述べる。

### 3.1 文字入力方法

FaceFlick において、ユーザは HMD の前面に取り付けたタッチデバイスを用いてフリック入力を行う (図 1)。仮想キーボードは常にユーザの視界の中心に表示され (図 1b)、ユーザは VR 内に表示される仮想キーボードの裏から触れるようにしてフリック入力する (1a)。ユーザがタッチデバイスに触れた際には、入力中の子音とそれに対応する母音のキーおよびタッチ位置を赤色のポイントとして示す (1c)。これによって、ユーザは視覚フィードバックを得ながら文字入力を行うことができる。ただし、FaceFlick におけるフリック入力はトラッキングセンサの範囲外である HMD の前面にて行われるため、ユーザの手指を VR 内に表示することができない。そのため、ユーザは固有感覚に従って、HMD の前面のタッチデバイスをタッチおよびフリックする。

### 3.2 仮想キーボードの表示位置

タッチデバイスの実際の入力位置と VR 内の仮想キーボードの表示位置を一致させると固有感覚のズレが少なく

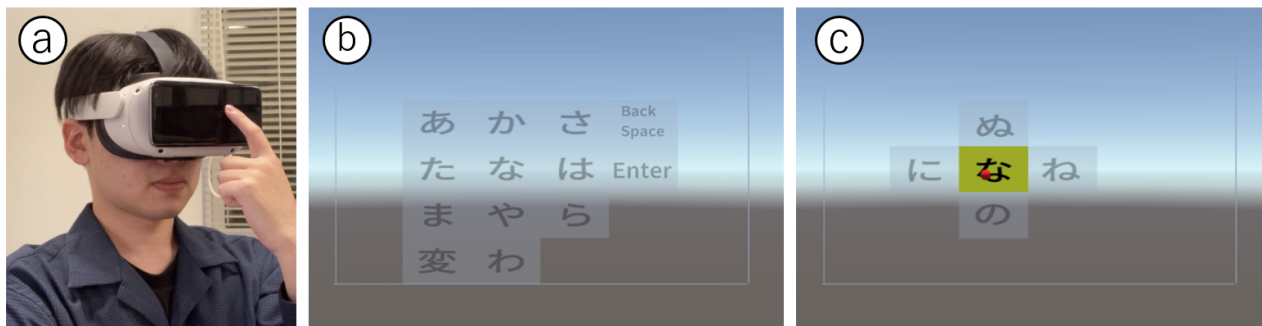


図 1 FaceFlick の入力の様子 (a). タッチデバイスに触れていない時は半透明のキーボード (b). タッチデバイスに触れた時のキーボード (c).

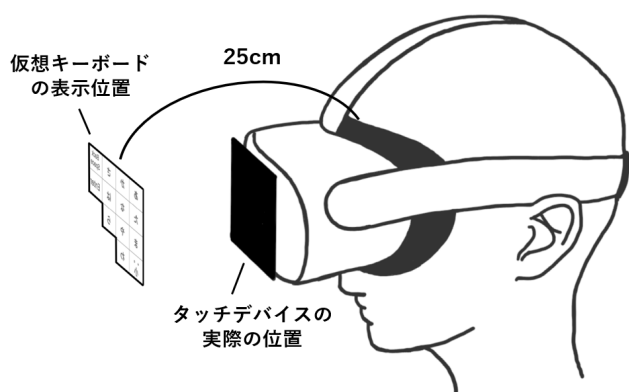


図 2 タッチデバイスの実際の位置および VR 内に表示される仮想キーボードの表示位置.

なるため、ユーザは正確な位置をタッチおよびフリックできる。しかし、実際のタッチデバイスが取り付けられている位置（ユーザの目から 10cm 程度離れた位置）に仮想キーボードを表示した場合、仮想キーボードの近さによる圧迫感および目の疲労を感じやすかった。そこで、Oculus ガイドライン [15] および先行研究 [6] を参考にし、仮想キーボードを本来の位置よりも遠い、目から 25cm 離れた位置に表示した（図 2）。

### 3.3 タッチデバイス上のキー

キーの領域はタッチデバイスの領域を図 3 に示すような縦に 5 分割、横に 6 分割した格子の区切りを基に設定されている。なお、一番上の行は、「あ」行、「か」行、および「さ」行の「う」の段の入力に必要なスペースである。これは、一番右の列についても同様である。また、仮想キーボードの大きさは実際のタッチデバイスの画面と同じ大きさとしている。

## 4. 予備実験：FaceFlick と従来の VR フリック入力手法との比較

FaceFlick および従来の VR フリック入力手法 [24] のそれぞれを用いた文字入力タスクを行い、文字入力速度およびエラー率を計測して FaceFlick の文字入力性能を評価す



図 3 タッチデバイス上のキーのレイアウト。外側から見た場合、タッチデバイス上におけるフリックキーボードの配置は左右逆になる。

る。また、SUS[2] および NASA-TLX[7] のスコアをアンケートによって集計して FaceFlick のユーザビリティを評価する。比較手法として VR フリック入力手法 [24] を選んだ理由は、入力方法が実在のフリック入力の操作と同様であるという点、および片手のみによる文字入力手法であるという点において FaceFlick と共通するためである。

### 4.1 実験参加者

実験参加者は、研究室内の大学生および大学院生 8 名（男性 7 名、平均年齢 23.13 歳、全員右利き）であった。フリック入力の使用頻度については、5 段階評価（5：いつも使う、1：まったく使わない）にて集計し、5 が 5 名、4 が 1 名、2 が 1 名、1 が 1 名であった。また、VR の経験についても同様に 5 段階評価にて集計し、5 が 2 名、4 が 2 名、3 が 1 名、2 が 3 名であった。

### 4.2 実験装置および実験環境

タッチデバイスが前面に取り付けられた HMD を用いて、FaceFlick の文字入力タスクを行う。HMD には Meta Quest 2 を使用し、その前面に取り付けるタッチデバイスには Galaxy S7 edge を用いた。また、従来手法の文字入力タスクにおいては、何も取り付けられていない Meta



図 4 従来の VR フリック入力手法におけるテキストボックスとキーボードの位置。入力位置はユーザの前方の空中。

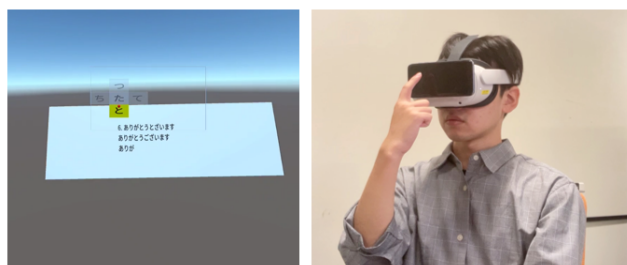


図 5 FaceFlick におけるテキストボックスとキーボードの位置。入力位置は HMD の前面。

Quest 2 を用いる。各手法において用いるデバイスの重量は、FaceFlick では 820.6 g であり、従来手法では 650.5 g であった。

従来手法においては課題文と入力した文字が表示されるテキストボックスおよびキーボードが床面に対して垂直になるように配置した (図 4)。また、FaceFlick における文字入力では常に視界の中心にキーボードが表示されるため、テキストボックスを正面に配置すると、キーボードとテキストボックスの位置が重なり、焦点の移動が難しくなる。そこで、FaceFlick の文字入力タスクでは、人間の視野が下側に広いことを踏まえて、テキストボックスを視界の下側に配置した (図 5)。

なお、これらのテキストボックスの配置は著者が最も文字入力タスクを行いやすいと感じる位置とした。

#### 4.3 実験手順

最初に、実験参加者は実験において必要となる Meta Quest 2 の操作方法を確認した。次に、実験参加者は、それぞれの手法にて異なる HMD を装着し、椅子に座って文字入力タスクを実施した。この時、実験参加者には右手によって文字入力を行うこと、およびそれぞれの手法において図 4 もしくは図 5 の姿勢にて文字入力を行うことを指定し、高速かつ正確に入力するように指示した。文字入力タスクでは、各手法につき、2 回の練習および 1 回の本番からなる 3 つのセッションを行った。練習セッションの内、1 回目は 35 個、2 回目は 25 個、また、本番セッションでは 25 個の課題文をそれぞれ入力した。課題文は、50 音、濁音、半濁音、捨て仮名、および長音記号から構成された意味

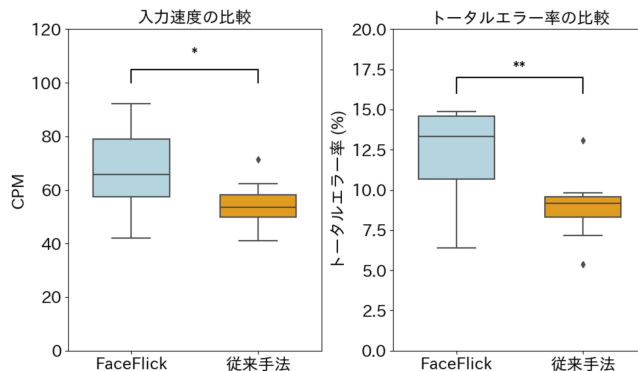


図 6 各手法における入力速度および文字入力速度の箱ひげ図。

のある短文であり、すべて異なるものであった。実験参加者は各セッションの間に 10 分以上の休憩を行った。実験参加者は本番セッションの終了後に、その文字入力タスクにおいて用いた文字入力手法について、SUS, NASA-TLX および自由記述欄からなるアンケートに回答した。実験に要した時間は 2 時間以下であった。

また、カウンターバランスをとるために、入力手法の実施の順番を実験参加者の半数は FaceFlick、従来手法の順にて行い、残りの半数はこの逆順にて行った。

#### 4.4 実験結果

実験によって得た各手法の入力速度、エラー率の結果 (図 6)、およびアンケートによる SUS と NASA-TLX のスコアを示し、統計解析の結果を示す。なお、統計解析においては、有意水準を 0.05 とした。

##### 4.4.1 入力速度

それぞれの手法における入力速度の平均を集計した。入力速度の平均は、FaceFlick が 66.71 CPM (SD = 17.46 CPM) であったのに対し、従来手法では 54.56 CPM (SD = 9.23 CPM) 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あった ( $p = 0.025 < 0.05$ ,  $d = 0.870$ )。

##### 4.4.2 エラー率

それぞれの手法におけるエラー率をトータルエラー率 [1] として集計した。トータルエラー率の平均は、FaceFlick が 12.21 % (SD = 3.07 %) であったのに対し、従来手法では 9.00 % (SD = 2.21 %) 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あった ( $p = 0.012 < 0.05$ ,  $d = 1.205$ )。

##### 4.4.3 ユーザビリティ

それぞれの手法におけるユーザビリティを評価するために行った SUS および NASA-TLX のアンケートの結果を示す (図 7)。SUS スコアの平均は、FaceFlick が 75.00 (SD = 17.06) であったのに対し、従来手法では 69.06 (SD = 15.29) であった。対応のある t 検定の結果から、これらの平均値には有意差がなかった ( $p = 0.437 > 0.05$ ,  $d = 0.315$ )。



表 1 フリック入力の使用頻度に関する比較

| グループ | 手法        | 入力速度 (標準偏差)           | Total ER (標準偏差)  |
|------|-----------|-----------------------|------------------|
| 経験者  | FaceFlick | 74.35 CPM (12.08 CPM) | 11.84 % (3.48 %) |
|      | 従来手法      | 57.09 CPM (8.66 CPM)  | 8.37 % (1.73 %)  |
| 未経験者 | FaceFlick | 43.80 CPM (2.37 CPM)  | 13.33 % (1.42 %) |
|      | 従来手法      | 46.99 CPM (8.32 CPM)  | 10.88 % (3.11 %) |

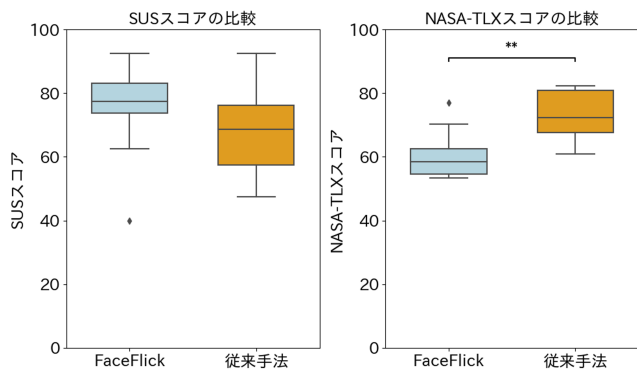


図 7 各手法における SUS スコアおよび NASA-TLX スコアの箱ひげ図.

また, NASA-TLX スコアの平均は, FaceFlick が 60.79 ( $SD = 8.50$ ) であったのに対し, 従来手法では 72.90 ( $SD = 8.24$ ) であった. 対応のある  $t$  検定の結果から, これらの平均値には有意差があった ( $p = 0.038 < 0.05$ ,  $d = 1.079$ ).

#### 4.5 考察

実験中の様子を観察したところ, 実験参加者のフリック入力の経験が文字入力の成績に影響したと考えられる. そこで, 実験参加者をフリック入力の使用頻度について 5 もしくは 4 と回答した 6 人からなる経験者グループ, また, 2 もしくは 1 と回答した 2 人からなる非経験者グループに分けて集計した結果も合わせて考察する (表 1).

入力速度において, FaceFlick は従来手法を上回った. この時, 表 1 によると, FaceFlick の平均入力速度は従来手法の平均入力速度に対して, 経験者グループでは 1.30 倍であるのに対し, 未経験者グループは 0.93 倍であった. 今回の実験参加者にはフリック入力経験者が多かったため, この結果が強く反映されたと思われる. また, FaceFlick がフリック入力経験者にとって入力しやすかった理由として, 物理的なタッチ面を用いた VR フリック入力に普段用いるフリック入力の操作と似ていたためだと推察される.

また, エラー率において, FaceFlick は従来手法を下回った. この時, 表 1 によると, FaceFlick の平均エラー率は従来手法の平均エラー率に対して, 経験者グループでは約 1.42 倍であるのに対し, 未経験者グループは約 1.23 倍であった. エラー率についてはどちらのグループにおいても FaceFlick は従来手法に比べて高かった. これは, 従来手法が VR 内に, トラッキングしたユーザの手指を表示する

のに対し, FaceFlick にはこの表示がなかったためだと考えられる.

SUS スコアについて, 有意差はなかったが FaceFlick は従来手法より優れていた. これは前述したように, FaceFlick における物理的なタッチ面を用いた入力は, フリック入力経験者にとって馴染みがあるためだと考えられる.

NASA-TLX スコアについて, FaceFlick は従来手法より優れていた. これは従来手法では, 文字入力の際に腕を前方に突き出しながらキーの選択およびフリック操作において腕全体を動かし続ける必要があったためだと推察される. これに対して, FaceFlick では, HMD の前面にてフリック入力を行うため, 腕を前方に突き出したり, 腕全体を動かしたりといった動作を必要としなかったため疲労が少なかったと推察される.

## 5. 議論および今後の展望

### 5.1 文字入力時のユーザへの負担

FaceFlick では腕を前方に突き出す, および腕全体を動かすといったことをしないため, 従来手法と比較して腕の疲労が抑えられたが, HMD の前面に触れるような動作も腕に負担がかかると指摘されている [8]. また, HMD の前面にタッチデバイスを取り付けたことにより, HMD 全体の重量が増加している. アンケートの自由記述欄にて, このことへの言及はなかったが, HMD 全体の重量の増加はユーザの負担につながると考えられるため, より軽いタッチデバイスもしくはタッチを感知できる装置にすると良いと考えている.

### 5.2 キーレイアウト

今回の実験において用いた FaceFlick におけるキーレイアウトは, 単純にタッチデバイス上の入力領域を格子状に分割したものであり, HMD 前面を用いたフリック入力の特性について考慮していない. HMD の前面におけるタッチの特性については先行研究 [6] にて調査されたが, フリック入力を前提にしたキーレイアウトについてキーの大きさおよびキー同士の間隔などは調査されていない. そのため, HMD の前面を用いたフリック入力における適切なキーレイアウトを調査し, そのようなキーレイアウトに変更することによって, FaceFlick の文字入力性能を向上できると考えている.

### 5.3 手指の表示

アンケートの自由記述欄における実験参加者からのコメントに、HMDの前面を用いた入力を行うことはできたが、手指の表示があると良かったという意見があった。そのため、HMDに新たなトラッキングデバイスを取り付け、HMD前面に触れた際のユーザの手をトラッキングできるように改良することが考えられる。また、先行研究[5]において、手全体を示さなくても入力性能が低下しないと報告されているため、現在のデバイスと相性の良い表示の方法を考える必要がある。

### 5.4 入力方法の変更

FaceFlickにおいては手指の表示なしに固有感覚に従って子音を選択していたが、実験結果のエラー率から正確な入力がしにくいことがわかった。これに対して、手指の表示が効果的だと推察されるが、文字入力の方法を変更することにより、手指の表示なしでも正確に入力が行えるようにしてもよい。先行研究[6]にてタッチを離れた際に入力を行うという入力方法が提案された。この入力方法はキーの選択を指の触れている位置を表示できるタッチ状態にて行い、正確にキーを選択することができる。しかし、フリック入力はキーの選択とフリックの動作を行うため、単に離れた位置を入力とするだけではフリック入力ができない。そこで、タッチ中の指の軌跡が折れ曲がった部分の位置をもとにキー選択を行うフリック入力手法[19]を採用することにより、固有感覚に頼らず正確な文字入力が行えると考えている。

## 6. まとめ

本研究では、HMD前面を用いたVR用フリック文字入力手法であるFaceFlickを示した。予備実験としてFaceFlickの文字入力性能を従来のVRフリック入力手法と比較した結果、文字入力速度、SUSスコア、およびNASA-TLXスコアにて従来のVRフリック入力手法を上回った。今後はHMD前面を用いたフリック入力に適したキーボードレイアウト、手指の表示、および新しい文字の入力方法を試し、FaceFlickの改良を行う。

### 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] Brooke, J.: SUS: A Quick and Dirty Usability Scale, *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189–194 (1996).

[3] Fashimpaur, J., Kin, K. and Longest, M.: PinchType: Text Entry for Virtual and Augmented Reality Using Comfortable Thumb to Fingertip Pinches, *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '20, New York, NY,

USA, Association for Computing Machinery, pp. 1–7 (online), DOI: 10.1145/3334480.3382888 (2020).

[4] Grossman, T., Chen, X. A. and Fitzmaurice, G.: Typing on Glasses: Adapting Text Entry to Smart Eyewear, *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '15, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 144–152 (online), DOI: 10.1145/2785830.2785867 (2015).

[5] Grubert, J., Witzani, L., Ofek, E., Pahud, M., Kranz, M. and Kristensson, P. O.: Effects of Hand Representations for Typing in Virtual Reality, *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 151–158 (online), DOI: 10.1109/VR.2018.8446250 (2018).

[6] Gugenheimer, J., Dobbstein, D., Winkler, C., Haas, G. and Rukzio, E.: FaceTouch: Enabling Touch Interaction in Display Fixed UIs for Mobile Virtual Reality, *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 49–60 (online), DOI: 10.1145/2984511.2984576 (2016).

[7] 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).

[8] 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 SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 1063–1072 (online), DOI: 10.1145/2556288.2557130 (2014).

[9] Hutama, W., Harashima, H., Ishikawa, H. and Manabe, H.: HMK: Head-Mounted-Keyboard for Text Input in Virtual or Augmented Reality, *Adjunct Proceedings of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '21 Adjunct, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 115–117 (online), DOI: 10.1145/3474349.3480195 (2021).

[10] Lee, J., Kim, B., Suh, B. and Koh, E.: Exploring the Front Touch Interface for Virtual Reality Headsets, *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 2585–2591 (online), DOI: 10.1145/2851581.2892344 (2016).

[11] Liu, Z., He, J., Feng, J. and Zhou, J.: PrinType: Text Entry via Fingerprint Recognition, *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, Vol. 6, No. 4 (online), DOI: 10.1145/3569491 (2023).

[12] Ogitani, T., Arahori, Y., Shinyama, Y. and Gondow, K.: Space Saving Text Input Method for Head Mounted Display with Virtual 12-key Keyboard, *2018 IEEE 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, pp. 342–349 (online), available from (<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:52003998>) (2018).

[13] Rahim, M. A., Shin, J. and Islam, M. R.: Gestural Flick Input-Based Non-Touch Interface for Character Input, *Vis. Comput.*, Vol. 36, No. 8, pp. 1559–1572 (online), DOI: 10.1007/s00371-019-01758-8 (2020).

[14] Wang, C.-Y., Chu, W.-C., Chiu, P.-T., Hsiu, M.-C., Chiang, Y.-H. and Chen, M. Y.: PalmType: Using Palms as Keyboards for Smart Glasses, *Proceedings of the 17th International Conference on Human-*

- Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '15, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, pp. 153–160 (online), DOI: 10.1145/2785830.2785886 (2015).
- [15] Yao, R., Heath, T., Davies, A., Forsyth, T., Mitchell, N. and Hoberman, P.: Oculus VR Best Practices Guide, *Oculus VR*, Vol. 4, pp. 27–35 (2014).
  - [16] 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).
  - [17] 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).
  - [18] 清原隆一, 沢田篤史, 野呂昌満: VR 環境における文字入力のための触感を伴ったフリック入力方法, 日本ソフトウェア科学会第 35 回大会講演論文集, Vol. 39 (2022).
  - [19] 青木良輔, 橋本遼, 瀬古俊一, 片岡泰之, 井原雅行, 渡辺昌洋, 小林透: Drag&Flick: タッチスクリーンを用いた視覚障がい者向け文字入力方式, 情報処理学会 インタラクション (2013).
  - [20] 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).
  - [21] 大岡湧汰, 入江英嗣, 坂井修一: 透過型 HMD におけるフリック入力の検討, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2092 論文集, Vol. 2020, pp. 497–504 (オンライン), 入手先 (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1050574047087730944>) (2020).
  - [22] 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).
  - [23] 二本松拓哉, 中村喜宏: VR 環境におけるピンチ動作を用いた視覚に頼らない文字入力方法の検討, 第 79 回全国大会講演論文集, Vol. 2017, No. 1, pp. 309–310 (オンライン), 入手先 (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1050292572130013184>) (2017).
  - [24] 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).
  - [25] 末廣健児, 後藤淳: 感覚入力・感覚受容とそれに伴う運動の変化について, 関西理学療法, Vol. 11, No. 0, pp. 21–24 (オンライン), DOI: 10.11354/jkpt.11.21 (2011).