

## 母音、子音の順に選択を行う間接タッチ用かな文字入力手法

和田 優斗\* 白根 薫† 崔 明根‡§ 志築 文太郎§

**概要.** 間接タッチとは、操作対象が表示された出力面に直接触れるのではなく、別の入力面を介して行われるタッチを指す。間接タッチを行う際、ユーザは入力面を直接視認しないため、正確な位置に指をタッチダウンすることが難しい。日本語文字入力におけるこの課題を解決するために、我々はスマートウォッチを入力面に用いた間接タッチ用かな文字入力手法を開発した。本手法では、ユーザはベゼルからのスライドインによる母音選択、および目的の子音キーからのタッチアップによる子音選択を連続して行う。これにより、入力面の視認を必要としない、間接タッチによる正確な日本語文字入力が達成される。研究室内実験の結果、間接タッチ時に、本手法の平均文字入力速度が 29.5 CPM、平均トータルエラー率が 10.0% であることが示された。実験結果より、間接タッチにおける本手法の有用性が示唆された。

### 1 はじめに

間接タッチ (indirect touch) とは、操作対象が表示された画面 (以下、出力面) とは別の入力面 (以下、入力面) を介して行われるタッチを指す [16][19][12][15]。従来、間接タッチは、トラックパッドおよびペンタブレットを用いた操作に使用されてきた。近年では、スマート TV およびヘッドマウントディスプレイ (HMD) の操作にも間接タッチが活用されている [20]。

出力面に直接触れる直接タッチ (direct touch) と比較して、間接タッチは、垂直な出力面のタッチ時に腕を持ち上げることによる疲弊 (ゴリラアーム現象 [4]) を抑制する [15]。また、間接タッチを文字入力に応用すれば、ユーザは出力面から目を離さずに、他の物体を見ながら文字入力を行うことが可能となる。この例として、スマート TV での動画視聴中に内容を見ながらコメントを入力する、および仮想現実上のチャットにて、相手の顔を注視しながらメッセージを送信するという状況が想定される。

間接タッチを行う際、入力面にフィードバックが表示される場合、ユーザは入力面および出力面を交互に確認するために、頭部および首に負担が掛かる。一方、入力面にフィードバックが表示されない場合、ユーザは入力面を直接視認しないため、正確な位置に指をタッチダウンすることが難しい [19]。この特性を踏まえて、タッチダウンが不正確であっても使用可能な、間接タッチ向けに設計された文字入力手法が提案されている [20][21][1]。これらの手法では、出力面の一部にキーボードおよびポインタが表示される。ユーザは、間接タッチによって操作したポイ



図 1. 本手法を用いたアプリケーション例。ユーザはスマート TV 上の動画を見ながら、スマートウォッチにタッチしてコメントの入力を行う。

ンタを用いてキーを選択することによって文字入力を行う。しかし、これらの手法は英文字入力を対象としており、我々の知る限りでは、間接タッチ向けに設計された日本語文字入力手法は提案されていない。

そこで、我々はスマートウォッチを入力面に用いた間接タッチ用かな文字入力手法を開発した。本手法では、ユーザはベゼルからのスライドイン (入力面外側から内側へのスライド) を用いて母音を選択した後、そのまま入力面上にて指をスライドして、目的の子音キーにてタッチアップすることによって子音を選択する。この操作により、母音、子音の順に連続した 1 ストロークにて入力を行う。ユーザはベゼルに触れた際に得られた触覚フィードバックを手掛かりにジェスチャを行うため、入力面を視認しなくとも、正確に入力を開始することができる。これにより、入力面を直接視認することなく、出力面に目を向けたまま、間接タッチを用いて日本語文字入力を行うことができる (図 1)。

本論文の貢献を以下に示す。

- 間接タッチ用かな文字入力手法の設計および実装を示した。
- 研究室内実験にて、間接タッチ時に、本手法の平均文字入力速度が 29.5 CPM、平均トータルエラー率が 10.0% であることが示された。

Copyright is held by the author(s).

\* 筑波大学 情報メディア創成学類

† 筑波大学 情報理工学位プログラム

‡ 日本学術振興会

§ 筑波大学 システム情報系

タルエラー率が 10.0%であることを示した。

- 実験参加者から得られたコメントを参考に、本手法の改善点を示した。

## 2 関連研究

本手法は間接タッチ用かな文字入力手法である。また、入力面にスマートウォッチの画面を用いる。本節では、間接タッチおよびスマートウォッチのタッチジェスチャに関する研究、ならびにこれらを用いた文字入力手法を述べる。

### 2.1 間接タッチ

間接タッチの特性に関する調査、および間接タッチを用いたインタフェースの研究が行われている。Xin ら [19] は、間接タッチのターゲット選択精度の低さに着目して、間接タッチ入力技術を調査した。Voelker ら [16] は、間接タッチにおいて、ユーザが手元を視認せずオブジェクトに狙いを定めるために必要な設計の推奨事項を示した。また、間接タッチおよび視線を組み合わせた入力手法を提案した [15]。Schmidt ら [12] は、間接タッチおよび直接タッチにおけるマルチタッチの性能を比較した。我々の手法も、間接タッチにおける使用を想定する。

### 2.2 スマートウォッチのタッチジェスチャ

近年、Extended Reality (xR) へのスマートウォッチの活用が注目を集めている。特にスマートウォッチのタッチジェスチャを用いたインタラクションが提案されている。GestureMark [11] は、スマートウォッチのタッチジェスチャを用いて xR 空間上のターゲットを選択する技術である。Lang ら [10] は、xR 上にて、スマートウォッチのタッチジェスチャがハンドジェスチャと比較して高速に実行可能かつユーザに好まれることを示した。

また、スマートウォッチのベゼルを活用した研究が行われている。B2B-Swipe [9] は、四角形のスマートウォッチにおけるベゼルの始点および終点とした 16 種類のジェスチャを実現する。Wong ら [18] は、ベゼルの始点としたスワイプ（ベゼルからのスライドイン）である Bezel-initiated Swipe (BIS) の、円形スマートウォッチにおける性能を調査した。ユーザはベゼルに触れた際に触覚フィードバックを得られるため、入力面を視認しなくともこれらの操作を実行できる。以上の特徴を踏まえて、我々の手法もスマートウォッチおよび BIS を入力に使用する。

### 2.3 文字入力手法

間接タッチ向けに設計された文字入力手法が提案されている。Yang ら [20] は、タッチの開始位置が不正確であっても使用可能な、ジェスチャ入力による間接タッチ用文字入力手法を提案した。加えて、論文中に直接の記載はないが、間接タッチを使用した文字入力手法が存在する。川瀬らの手法 [21] および HoldBoard [1] は、入力面にスマートウォッチ

を、出力面に HMD またはスマートグラスを用いる。しかし、我々の知る限りでは、間接タッチ向けに設計された日本語文字入力手法は存在しない。

また、スマートウォッチ用にキー選択を工夫した日本語文字入力手法が提案されている。スマートウォッチは画面が小さいため、ファットフィンガ問題 [13] およびスクリーンオクルージョン問題 [8] が発生する。これに対し、円環状に配置された子音キーからのスライドインまたはフリックによって入力が行われる手法 [25][23][22][14] が存在する。SliT [24] では、ユーザは周縁に配置された小さなキーから画面中央へと指をスライドインして子音を選択する。PonDeFlick [2] では、円環型に配置されたキーによって子音を選択した後に、フリック入力と共通の方向にフリックして母音を選択する。しかし、これらの手法は入力面の視認を前提とするため、間接タッチにて使用することは難しい。

さらに、画面の視認を必要としないアイズフリー用日本語文字入力手法が提案されている。No-look Flick [7] では、画面上の 3 つのキーを始点にフリックを行う。下岡ら [26] は、2 本指を用いてフリックを行う、スマートウォッチ用アイズフリー文字入力手法を提案した。これらの手法がアイズフリー用に特化しているのに対し、我々は出力面を活用した、間接タッチ用の文字入力手法を開発した。

## 3 本手法の設計

本手法は、入力面にスマートウォッチの画面を用いた、間接タッチ用かな文字入力手法である。

本手法では出力面にキーボードが表示される。ユーザは、初めにスライドインを用いて母音を選択する。この際に選択される母音は、スライドインの始点によって決定される。続けてユーザは入力面から指を離さずにスライドした後、入力対象の子音キーにてタッチアップすることによって子音を選択する。この操作を通じて、母音、子音の順に連続した 1 ストロークにて入力を行う (図 2)。

本手法は、日本語文字入力において広く普及しているフリック入力と同配列のキーボードを採用する。キーボードには初期状態にて 12 個のキー「あ、か、さ、た、な、は、ま、や、ら、小、わ、←」が表示される。これらのキーは、母音選択後に、選択された母音に応じたキー（「い」段の選択時には「い、き、し、ち、に、……」）に変化する。「小」キーは末尾の文字を濁音、半濁音、および捨てがなに変換する。「←」キーは末尾の文字を削除する。

本手法の間接タッチ用設計は、母音入力が BIS に割り当てられ、かつ母音が先に入力される点を特徴とする。先行研究にて、画面を視認しない状態では正確なタッチが困難である [7] のに対し、入力方向が少ない BIS は正確に実行可能である [18] と報告されている。このため、子音と比べて数の少ない母

母音，子音の順に選択を行う間接タッチ用かな文字入力手法



図 2. 本手法の操作 (a：間接タッチ設計，b：直接タッチ用設計)

音の入力を BIS に割り当てることによって，ユーザは入力面を直接視認しなくとも，ジェスチャを正確に開始できる．タッチダウン後はタッチ位置を示すポインタが出力面に表示されるため，ユーザはこのポインタを通じて，子音も正確に選択できる．これにより，間接タッチにおける正確かつ連続的な入力を実現される．加えて，既存のフリック入力とスライドインの方向を共通化することによって，学習コストの削減を見込む．

我々は，本手法を間接タッチ用に設計しつつ，直接タッチにおいても使用可能とするために，本手法を直接タッチ用に再設計した．この設計を以下に示す．

### 3.1 間接タッチ用設計

キーボードは入力面（スマートウォッチの画面）には表示されず，別の出力面に表示される（図 2a）．母音入力時，入力対象の母音が「い，う，え，お」であれば，ユーザはスマートウォッチのベゼル（「い」段：左側，「う」段：上側，「え」段：右側，「お」段：下側）から入力面中央へ指をスライドインする．入力対象の母音が「あ」段であれば，入力面の中央付近にタッチダウンする．スライドインまたはタッチダウンした時点にて母音を選択されると同時に，入力面のタッチ位置を示すポインタが出力面に表示される．子音入力時，ユーザは入力面から指を離さずにスライドすることによって，出力面上のポインタを目的の子音キーまで移動させる．その後，指をタッチアップすることによって子音を選択する．

入力される母音は，入力面を 5 分割した領域へのタッチダウンの位置によって決まる（図 3a）．入力される子音は，入力面を 12 分割した領域からのタッチアップの位置によって決まる（図 3b）．指の移動量を抑えたとともに端に位置するキーの選択を容易にするために，「い，う，え，お」段が入力されている間，スライドインされたベゼルの方向に判定領域が移動する．加えて，端に位置するキーの判定領域が入力面の端まで拡張される．誤った母音を選択した場合，ユーザはスライドインしたベゼルに指を戻すことによって入力を中断できる．ただし，「あ」段を選択した場合には，入力を中断できない．

### 3.2 直接タッチ用設計

キーボードは入力面（スマートウォッチの画面）に表示される（図 2b）．ユーザは，入力対象のかな

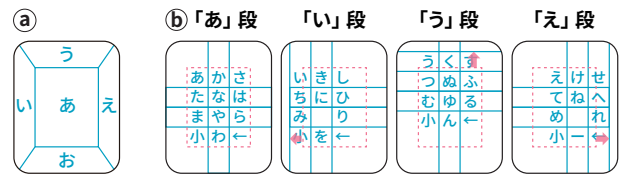


図 3. 間接タッチにおける判定領域の仮想的な図示 (a：母音判定の領域．b：子音判定の領域)

の母音に応じてキーボードの内側または外側（「あ」段：内側，「い」段：左側，「う」段：上側，「え」段：右側，「お」段：下側）にタッチダウンする．続けて目的の子音キーまで指をスライドした後，タッチアップする．入力を中断する場合，キーボードの外側に指をスライドさせる．間接タッチ用設計では，母音入力時に各方向のベゼルがスライドインの起点となる．一方，直接タッチ用設計では，入力面にキーボードが表示されるため，キーボードに対する相対位置がスライドインの起点となる．

## 4 実験

ベースライン手法との比較を通じた本手法の性能評価を行うとともに，間接および直接タッチにおける利用を比較するために，研究室室内実験を行った．

### 4.1 実験計画

本実験を参加者内計画にて行った．独立変数は，タッチ条件（間接タッチ，直接タッチ），および入力手法（スライド手法，フリック手法）の 2 つである．

**間接タッチ** ユーザの正面に設置されたディスプレイが出力面となる．課題文，入力文，およびキーボードはディスプレイに表示される．実験参加者は，ディスプレイを見ながら，スマートウォッチの画面をタッチして入力を行う（図 4a）．いずれの入力手法においても，スマートウォッチの画面へのタッチ中は，タッチ点を示すポインタがディスプレイに表示される．スマートウォッチの画面に情報は表示されない．

**直接タッチ** スマートウォッチの画面が出力面となる．課題文，入力文，およびキーボードはスマートウォッチに表示される．実験参加者は，スマートウォッチの画面に表示された情報を見ながら，スマートウォッチの画面をタッチして入力を行う（図 4b）．ディスプレイは使用しない．



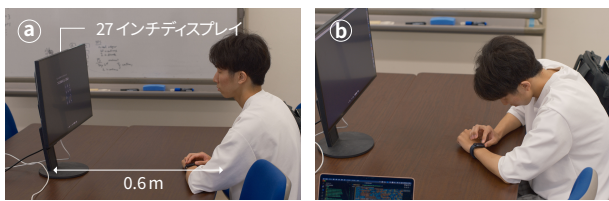


図 4. タッチ条件 (a: 間接タッチ, b: 直接タッチ)

スライド手法 3 節に述べた入力手法である。

**フリック手法** スマートフォンおよびスマートウォッチにて標準的に使用されるフリック入力と同様の入力手法を実装した。実験参加者は入力対象のかなの子音キーにタッチダウンした後、かなの母音に応じてフリックまたはそのままタッチアップする。

実験条件は、タッチ条件および入力手法を組み合わせた以下の 4 条件から構成される。

- indirect-slide (IS): 間接タッチにてスライド手法を使用する
- indirect-flick (IF): 間接タッチにてフリック手法を使用する
- direct-slide (DS): 直接タッチにてスライド手法を使用する
- direct-flick (DF): 直接タッチにてフリック手法を使用する

従属変数には、文字入力速度 (CPM: Characters Per Minute)、トータルエラー率 [3]、ユーザビリティ (SUS [5])、およびワークロード (NASA-RTLX: NASA Raw Task Load Index [6][27]) を用いた。

## 4.2 実験参加者

実験には、研究室内の大学生および大学院生 12 名 (平均 22.8 歳, SD = 1.0 歳, P1-P12) が参加した。実験参加者のうち、1 名が女性、1 名が左利きであった。スマートフォンの平均使用年数は 9.1 年 (SD = 2.0 年) であった。全員がスマートフォンを毎日使用すると回答した。3 名がスマートウォッチを日常的に使用すると回答した。

## 4.3 実験システム

実験にはスマートウォッチ (Apple Watch Series 9, 41 mm モデル)、ラップトップ PC (MacBook Air, M1 2020)、および 27 インチディスプレイを使用した。ディスプレイは PC に接続された後、机の端から 0.6 m 離れた位置に設置された (図 4)。

### 4.3.1 実験用アプリケーション

スライド手法およびフリック手法を用いて文字入力を行う実験アプリケーションを実装した。本アプリケーションは、スマートウォッチ用アプリケーションおよび PC 用アプリケーションから構成される (図 5)。これらは、Bluetooth Low Energy を介して通信を行った。課題文と一致する入力文の部分文字列は、太字のフォントを用いて強調された。



図 5. タッチ条件ごとのデバイスの画面

### スマートウォッチ用アプリケーション

Swift を用いて実装された watchOS (Apple Watch) 用アプリケーションである。本アプリケーションは、タッチ情報に基づく文字入力処理、タッチ座標および入力文の PC 用アプリケーションへの送信、ならびにキー選択時の触覚フィードバックの提示を行う。また、直接タッチに限って、課題文、入力文、キーボード、およびタッチ中の視覚フィードバックを表示する。

### PC 用アプリケーション

Swift を用いて実装された macOS 用アプリケーションである。本アプリケーションは、スマートウォッチ用アプリケーションからタッチ座標および入力文を受信する。また、間接タッチに限って、課題文、入力文、キーボード、ならびにタッチ中のポインタおよび視覚フィードバックを表示する。

#### 4.3.2 キーボード

すべての入力手法において、キーへのタッチ時に触覚フィードバックが提示された。スライド手法では、指をスライドさせて別のキーを選択した際にも触覚フィードバックが提示された。キーボードの幅は、watchOS 標準のフリック入力を参考に画面幅の 70% に設定された。キーボードの高さは、間接タッチではキーボードの幅と等倍に設定された。直接タッチでは課題文および入力文を表示する都合上、キーボードの幅の 60% に設定された。

## 4.4 実験タスク

本実験のタスクは、表示された課題文を、指定された文字入力手法を用いて入力することである。実験参加者は、可能な限り高速かつ正確に文字を入力するように指示された。タスクは座位にて行われた。実験参加者は、利き手と反対の腕にスマートウォッチを装着して、腕を机の上に置いた。操作時には利き手の親指および中指を用いてスマートウォッチを把持することが推奨され、また人差し指を用いて画面をタッチするように指示された。加えて、OS 標



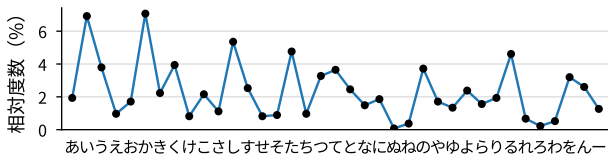


図 6. かな文字の出現頻度

準の通知センタの呼び出しを避けるために、上側のベゼルに長時間触れないように指示された。

実験参加者は、課題文が表示された時点で入力を開始した。また、課題文の入力が完了したと各自が判断したタイミングにて、スマートウォッチの龍頭を回転させた。これにより、次の課題文が表示された。一連の操作（課題文の入力および龍頭の回転）を、すべての課題文の入力が終了するまで行った。

#### 4.5 実験手順

実験概要の説明を行った後、実験前アンケートを実施した。実験参加者は、年齢、性別、利き手、スマートフォンおよびスマートウォッチの使用状況、普段使用する文字入力手法、ならびにフリック入力の習熟度を回答した。

次に実験タスクを説明した後、4セッションから構成される実験を実施した。実験条件はセッションごとに変更された。実験条件の順番はラテン方格法を用いて、実験参加者間のカウンタバランスを取って決定された。各セッションにおいて、実験参加者はタッチ条件および文字入力手法を確認した後、練習タスクを行った。練習タスクでは、12文の練習文が連続して提示された。続いて、本番タスクを行った。本番タスクでは、28文の課題文が連続して提示された。本番タスクには、練習タスクにて使用した練習文セットとは異なる課題文セットが使用された。本番タスク終了後、実験参加者は、SUS、自由記述、NASA-RTLX から構成されるアンケートに回答した。

全セッション終了後、実験後アンケートとして、実験参加者はタッチ条件ごとに好みの入力手法および順位付けの理由を回答した。

#### 4.6 課題文セット

本番タスクには、我々が独自に作成した4セットからなる日本語の課題文セットを用いた。1セットは短文28文から構成された。課題文セットには連番が振られた。セッション毎に、対応する番号の課題文セットが使用された。

課題文セットは、かなの清音、濁音、半濁音、捨てがな、および長音記号から構成され、また全体を通じてすべての清音が出現した(図6)。1つの短文の長さは10–14文字であり、文字数の平均は12文字、合計は336文字であった。どのセットにおいても、同じ長さの短文が同じ回数だけ出現した。

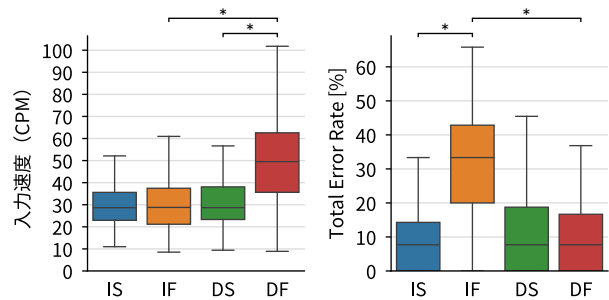


図 7. 手法ごとの平均文字入力速度および平均トータルエラー率 (\*  $p < .05$ , ひげは外れ値を除いた最小値および最大値を示す)

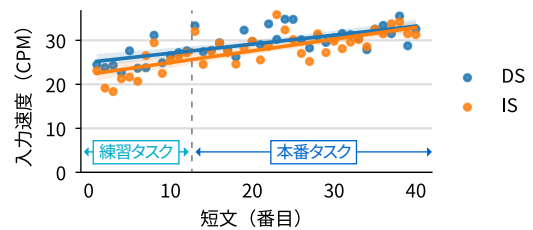


図 8. 文字入力速度の変遷および線形回帰

## 5 実験結果

### 5.1 文字入力速度およびトータルエラー率

平均文字入力速度は、IS 条件では 29.5 CPM (SD = 9.1 CPM), IF 条件では 31.4 CPM (SD = 13.5 CPM), DS 条件では 30.8 CPM (SD = 11.1 CPM), DF 条件では 51.2 CPM (SD = 20.7 CPM) であった(図7左)。平均トータルエラー率は、IS 条件では 10.0% (SD = 11.0%), IF 条件では 32.3% (SD = 14.7%), DS 条件では 11.8% (SD = 11.6%), DF 条件では 10.8% (SD = 10.9%) であった(図7右)。

文字入力速度およびトータルエラー率にコルモゴロフ-スミルノフ検定を行った結果、正規性は確認されなかった。そのため、入力手法およびタッチ条件を独立変数として整列ランク変換 [17] を行った後、二元配置分散分析を行った。その後、下位検定としてウィルコクソンの順位和検定を実施した。その結果、文字入力速度について、タッチ条件の主効果 ( $F_{1,1314} = 272.75, p < .05$ ), 入力手法の主効果 ( $F_{1,1314} = 284.47, p < .05$ ), および交互作用 ( $F_{1,1314} = 227.03, p < .05$ ) がみられた。トータルエラー率について、主効果のタッチ条件 ( $F_{1,1314} = 293.41, p < .05$ ), 入力手法の主効果 ( $F_{1,1314} = 327.62, p < .05$ ), および交互作用 ( $F_{1,1314} = 382.45, p < .05$ ) がみられた。

練習および本番タスク中の文字入力速度の変遷を図8に示す。

### 5.2 SUS および NASA-RTLX

SUS (高いほど良い) および NASA-RTLX (低いほど良い) の平均スコアを図9に示す。

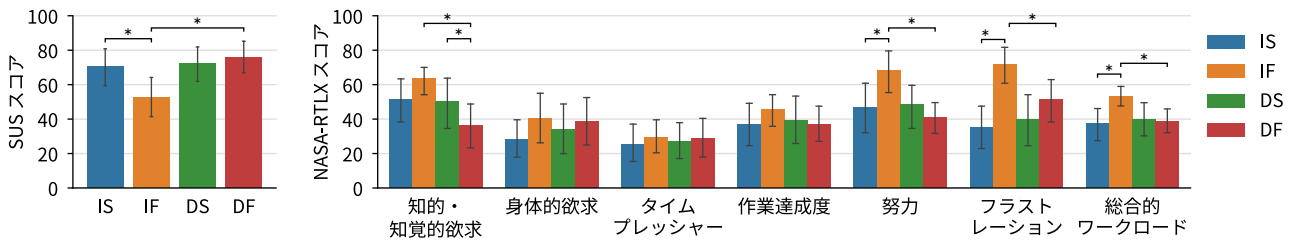


図 9. 手法ごとの平均 SUS スコア, NASA-RTLX の項目別平均スコア (\*  $p < .05$ , エラーバーは 95% 信頼区間)

SUS および NASA-RTLX にシャピロ-ウィルク検定を行った結果, 正規性が確認された. そのため, 二元配置分散分析を行った. その後, 下位検定として t 検定を実施した後, ホルム補正を行った. その結果, SUS について, タッチ条件の主効果 ( $F_{1,1843} = 13.65, p < .05$ ) および交互作用 ( $F_{1,1435} = 6.96, p < .05$ ) がみられた. 総合的ワークロードについて, 交互作用 ( $F_{1,840} = 18.60, p < .05$ ) がみられた.

### 5.3 手法の好み

間接タッチでは, 11 名がスライド手法を, 1 名がフリック手法を好むと回答した. スライド手法の選択理由には, 「誤入力が少ない」(P1, P3, P6, P8), 「触っている位置が分かりやすい」(P2, P4), 「指の開始位置を判断しやすい」(P5), 「タッチ時にキーを選択しなくてよい」(P7), 「正確にキーを選択できる」(P10), 「ミスタッチした際にリカバリできる」(P11, P12) が挙げられた. フリック手法の選択理由には「使い慣れている」(P9) が挙げられた.

直接タッチでは, 6 名がスライド手法を, 6 名がフリック手法を好むと回答した. スライド手法の選択理由には, 「誤入力が少ない」(P3, P8), 「キーの小ささが気にならない」(P4, 10), 「どのキーを選択してるかが把握できる」(P6), 「端のキーが選択しやすい」(P11) が挙げられた. フリック手法の選択理由には「使い慣れた手法である」(P1, P5, P7, P9, P12), 「入力が速い」(P2) が挙げられた.

## 6 考察および今後の課題

実験結果およびアンケートのコメントを基に, 本手法に関する考察を述べる.

### 6.1 間接および直接タッチへの応用

間接タッチにて, 本手法はフリック手法と比較して, 平均文字入力速度が同程度でありながらも, 平均エラー率および総合的ワークロードが有意に低く, またユーザビリティが有意に高かった. ゆえに, 本手法の間接タッチにおける有用性が示唆された.

直接タッチにて, 本手法はフリック手法と比較して, 平均文字入力速度が有意に低かった. 一方, 自由記述には「指を動かしながら操作を行うため, 選択中のキーが分かりやすい」(P4, P6, P12) との回答があった. ゆえに, 本手法はファットフィンガ問題の解消に有用である可能性がある. また, 本手法

はタッチダウン時のみならず, 指をスライドさせて別のキーを選択した際にも, 連続的に触覚フィードバックを提示できるという特徴を持つ. 複数の実験参加者 (P1, P5, P6, P9, P10) が, 自由記述にてこの点を好意的に回答した.

### 6.2 設計の改善

我々は, スライドインの始点に, 一般的なフリック入力における母音のフリック方向と同様の方向を割り当てることによって, 本手法にフリック入力との共通性を持たせようと試みた. しかし, 現在の設計では指を動かす方向がフリック入力と反対となるため, 複数の実験参加者 (P1, P8, P12) が入力方向について混乱したと回答した. その他に「指の移動量が多い」(P6, P10) という回答も存在した. したがって, スライドインの方向および最適な Control-Display 比を検討する必要がある.

### 6.3 今後の課題

今回の実験では, スマートウォッチのベースライン手法であるフリック手法との比較を行った. 今後は, 研究室外実験を通じて本手法の正確な性能を調査するとともに, 長期実験による本手法の正確な習熟を明らかにする. 加えて, 既存のアイズフリー手法および音声入力, ならびにポインタを用いてキー選択を行う手法との比較実験を行う. また, xR 環境における使用を想定して, 出力デバイスに HMD を用いた際の本手法の性能, およびその際の視線の動きについても調査する. 加えて, スマートフォン等の別デバイスを入力に用いた際のインタフェースについても検討を進める.

## 7 まとめ

本論文では, スマートウォッチを入力に用いた間接タッチ用かな文字入力手法を示した. 研究室内実験を通じて, 本手法およびフリック手法を間接および直接タッチにて使用した際の性能を調査した. 実験の結果, 間接タッチ時に本手法の平均文字入力速度は 29.5 CPM, 平均トータルエラー率は 10.0% を記録した. これにより, 間接タッチにおいて, 本手法は実用的な日本語文字入力手法として使用可能なことが示唆された. 今後はさらなる実験を通じて, 本手法の詳細な性能および最適な設計を調査する.

## 参考文献

- [1] S. Ahn, S. Heo, and G. Lee. Typing on a Smartwatch for Smart Glasses. In *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, ISS '17*, pp. 201–209, 2017.
- [2] K. Akamine, R. Tsuchida, T. Kato, and A. Tamura. PonDeFlick: A Japanese Text Entry on Smartwatch Commonalizing Flick Operation with Smartphone Interface. In *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '24*, pp. 1–11, 2024.
- [3] A. S. Arif and W. Stuerzlinger. Analysis of Text Entry Performance Metrics. In *2009 IEEE Toronto International Conference Science and Technology for Humanity, TIC-STH '09*, pp. 100–105, 2009.
- [4] S. Boring, M. Jurmu, and A. 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: Design: Open 24/7, OzCHI '09*, pp. 161–168, 2009.
- [5] J. Brooke. SUS: A Quick and Dirty Usability Scale. *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189–194, 1996.
- [6] J. C. Byers, A. Bittner, and S. G. Hill. Traditional and Raw Task Load Index (TLX) Correlations: Are Paired Comparisons Necessary. *Advances in industrial ergonomics and safety*, 1:481–485, 1989.
- [7] Y. Fukatsu, B. Shizuki, and J. Tanaka. No-look flick: Single-handed and Eyes-free Japanese Text Input System on Touch Screens of Mobile Devices. In *Proceedings of the 15th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '13*, pp. 161–170, 2013.
- [8] C. Harrison and S. E. Hudson. Abracadabra: Wireless, High-precision, and Unpowered Finger Input for Very Small Mobile Devices. In *Proceedings of the 22nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '09*, pp. 121–124, 2009.
- [9] Y. Kubo, B. Shizuki, and J. Tanaka. B2B-Swipe: Swipe Gesture for Rectangular Smartwatches from a Bezel to a Bezel. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 3852–3856, 2016.
- [10] M. Lang, C. Strobel, F. Weckesser, D. Langlois, E. Kasneci, B. Kozlíková, and M. Krone. A Multimodal Smartwatch-based Interaction Concept for Immersive Environments. *Computers & Graphics*, 117:85–95, 2024.
- [11] J. Lee, M. Baeck, H.-S. Yeo, T. Starner, and W. Woo. GestureMark: Shortcut Input Technique using Smartwatch Touch Gestures for XR Glasses. In *Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2024, AHs '24*, pp. 63–71, 2024.
- [12] D. Schmidt, F. Block, and H. Gellersen. A Comparison of Direct and Indirect Multi-touch Input for Large Surfaces. In *Proceedings of the IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction, INTERACT '09*, pp. 582–594, 2009.
- [13] K. A. Siek, Y. Rogers, and K. H. Connelly. Fat Finger Worries: How Older and Younger Users Physically Interact with PDAs. In *Proceedings of the IFIP TC13 International Conference on Human-Computer Interaction, INTERACT '05*, pp. 267–280, 2005.
- [14] T. Tojo, T. Kato, and S. Yamamoto. BubbleFlick: Investigating Effective Interface for Japanese Text Entry on Smartwatches. In *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '18*, pp. 44:1–44:12, 2018.
- [15] S. Voelker, A. Matviienko, J. Schöning, and J. Borchers. Combining Direct and Indirect Touch Input for Interactive Workspaces using Gaze Input. In *Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Spatial User Interaction, SUI '15*, pp. 79–88, 2015.
- [16] S. Voelker, C. Wacharamanotham, and J. Borchers. An Evaluation of State Switching Methods for Indirect Touch Systems. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '13*, pp. 745–754, 2013.
- [17] J. O. Wobbrock, L. Findlater, D. Gergle, and J. J. Higgins. The Aligned Rank Transform for Nonparametric Factorial Analyses using Only Anova Procedures. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '11*, pp. 143–146, 2011.
- [18] P. C. Wong, K. Zhu, X.-D. Yang, and H. Fu. Exploring Eyes-free Bezel-initiated Swipe on Round Smartwatches. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–11, 2020.
- [19] Y. Xin, R. Liu, and Y. Li. Strategy for Improving Target Selection Accuracy in Indirect Touch Input. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 103(7):1703–1709, 2020.
- [20] Z. Yang, C. Yu, X. Yi, and Y. Shi. Investigating Gesture Typing for Indirect Touch. In *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, Vol. 3 of *IMWUT*, pp. 117:1–117:22, 2019.
- [21] 川瀬 寛也, 澤邊 太志, 藤本 雄一郎, 神原 誠之, 加藤 博一. 日常利用の拡張現実感環境におけるタッチタイピング可能な文字入力システム. 複合現実感研究会 MR2022-10, pp. 30–35, 2022.
- [22] 東條 貴希, 本田 裕己, 加藤 恒夫, 山本 誠一. BubbleSlide: スマートウォッチ向け円環型日本語かな入力インターフェース. 情報処理学会論文誌, 60(10):2075–2084, 2024.
- [23] 西田 圭佑, 加藤 恒夫, 山本 誠一. スマートウォッチ向け日本語かな入力インターフェースの試作.



- 情報処理学会インタラクション 2017 論文集, pp. 897-902, 2017.
- [24] 秋田 光平, 田中 敏光, 佐川 雄二. 画面占有率の低いスマートウォッチ向け文字入力手法 SliT. ヒューマンインタフェース学会論文誌, 21(1):131-140, 2019.
- [25] 齋藤 航平, 奥 寛雅. HARI キーボード: 超小型タッチパネル端末向け日本語入力キーボード. 情報処理学会インタラクション 2016 論文集, pp. 701-703, 2016.
- [26] 下岡 純也, 浅井 洋樹, 山名 早人. スマートウォッチにおけるアイズフリー日本語入力手法. 第 23 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予稿集, WISS 2015, pp. 1-2, 2015.
- [27] 芳賀 繁, 水上 直樹. 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定—各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度. 日本人間工学会誌, 32(2):71-79, 1996.