

指の軌跡に基づくモバイル端末向け アイズフリーかな文字入力の手提案

漆山 裕太^{†1,a)} 中村 拓人^{†2,b)} 志築 文太郎^{†3,c)}

概要: アイズフリー文字入力は、周囲に視覚的注意が必要とされる状況において、モバイル端末のスクリーンへの視認を不要にするため、有用である。しかしながら、手元を視認せずに行われるタッチ操作は粗いため、堅牢な文字入力手法が求められる。そこで我々は、タッチ開始位置を中心とする5領域を一筆書きにて通過するのみにより、1文字の子音および母音の双方を入力可能なかな文字入力手法を提案する。今回我々は、スマートフォンおよびスマートウォッチ上で動作する提案手法のプロトタイプシステムを実装した。

1. はじめに

前方の安全を確認する必要がある歩行中、話し相手と視線を合わせる必要がある会話中、あるいは手元の端末を用いた壁面のモニタの操作中など、周囲への視覚的注意が必要とされる状況が存在する。モバイル端末向けのアイズフリー文字入力は、これらの状況において、モバイル端末のスクリーンへの視認を不要にするため、有用である。そのため、モバイル端末向けの指を用いるアイズフリー文字入力手法が研究されてきた [1, 2, 5, 6, 18, 28, 38]。

ただし、アイズフリー条件下では正確なタッチ操作が難しいことがわかっている [7, 30]。したがってそのために生じる、粗いタッチ操作に対する堅牢性がアイズフリー文字入力手法に求められる。先行研究のうち、タッチ開始位置のずれによる影響を受けにくい指の軌跡に基づく文字入力手法 [1, 28, 38] は、粗いタッチ操作に対して堅牢であると考えられる。このうち、1文字につき1種類の軌跡を割り当てる字体による手法 [28] は、英字と比較して種類の多いかな文字のアイズフリー入力への適用が困難であると考えられる。一方、移動方向の組み合わせによる手法 [1, 38] は、かな文字の種類が多いため、2本以上の指を用いる、指の

移動する方向を細かく分割する、あるいはタッチ操作を2回以上に分ける必要が生じる。

そこで我々は、指の軌跡が領域を通過する順序に基づく、モバイル端末向けのアイズフリーかな文字入力手法を提案する。粗いタッチ操作に対して堅牢な文字入力を期待して、提案手法では、タッチ開始位置を中心とする円形領域およびその外側の上下左右4方向の領域の計5領域を指が一筆書きにて通過する順序に基づいて、文字の子音および母音の双方を入力可能である。

2. 関連研究

本稿にて示す提案手法は、タッチスクリーン上の指の軌跡に基づく、スマートフォンおよびスマートウォッチ向けのアイズフリーかな文字入力である。したがって、軌跡に基づく文字入力、指によるアイズフリー文字入力、およびスマートウォッチ向けの文字入力に関する研究と提案手法との位置づけを述べる。

2.1 軌跡に基づく文字入力

字体に基づく軌跡を用いた手法が提案されてきた。Unistrokes [8] は、アルファベットのローマン体に対応する一筆書きの軌跡である。エラーがない場合にペン型デバイスによる入力にて秒間2.8文字の高速な英字入力が可能である。Graffiti [20] は、アルファベットのローマン体に近づけた一筆書きの軌跡の識別器であり、5分間の練習により97%の精度にてペン型デバイスによる英字入力が可能であることが示された。Tinwalaら [28] は、タッチスクリーン上にてGraffitiが識別する軌跡を描くことによりモバイル端末上にてアイズフリー英字入力を行う手法を提案

^{†1} 筑波大学情報メディア創成学類
College of Media Arts, Science and Technology, University of Tsukuba
^{†2} 筑波大学コンピュータサイエンス専攻
Department of Computer Science, University of Tsukuba
^{†3} 筑波大学システム情報系
Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba
a) urushiyama@iplab.cs.tsukuba.ac.jp
b) nakamura@iplab.cs.tsukuba.ac.jp
c) shizuki@cs.tsukuba.ac.jp

した。

ソフトウェアキーボード上のキーを通過する軌跡に基づく文字入力手法も存在する。SHARK [32], SHARK² [15], および Kristensson の Continuous Shape Writing [14] は、ソフトウェアキーボード上にて単語の綴り順にキーを通過するジェスチャによる高速かつ高精度の英字入力手法である。

字体やソフトウェアキーボードのキー配列に基づかない文字入力手法も示されている。Quikwriting [21] は、中央の領域から外側の領域を通過して中央の領域に戻るジェスチャを描くことにより、ペン型デバイスをスクリーンから離すことなく複数の英字を連続して入力可能な手法である。FlowMenu [11] は、Quikwriting を階層メニューに拡張した手法であり、文字入力以外の操作選択を可能にした。Popie [37] は、FlowMenu を拡張することにより、子音からの単語推定による高速な入力と母音入力による単語推定候補の絞り込みとの双方を実現する日本語入力手法である。Move&Flick [1] は、タップと指の 8 方向への 2 段階の移動を組み合わせることにより、高速な日本語かな文字入力を実現する手法である。井川ら [38] は、子音と母音を 2 回の 8 方向へのフリックにより入力する日本語かな文字入力を提案している。

提案手法は、Quikwriting, FlowMenu および Popie 同様に、軌跡が領域を通過する順序に基づいて文字を入力する手法である。一方、これらの先行研究とは異なり、提案手法はアイズフリー条件下における堅牢な操作を期待して、外側の領域を上下左右の 4 領域のみにより構成する。この特長は、Move&Flick および井川らの提案手法が指の移動を 8 方向に区別する点とも異なる。

2.2 指によるアイズフリー文字入力

指の軌跡に基づく文字入力は、指によるアイズフリー文字入力と親和性が高い。2.1 節で挙げた Tinwala らの手法 [28], Move&Flick [1], および井川らの手法 [38] は、アイズフリー文字入力として提案された手法である。

一方、指の軌跡以外に着目したアイズフリー文字入力も提案されてきた。Fukatsu ら [6] は、スマートフォンのタッチスクリーンを 3 領域に分割し、各領域上のフリックおよびタップにより日本語かな文字を入力するアイズフリーかな文字入力手法を提案している。また、指がタッチスクリーンに触れる組み合わせにより入力される文字を決定する手法として、BubStack [5] および Perkinput [2] が提案されている。Meyboard [18] は、特定の組み合わせにて指がタッチスクリーンに触れることにより、キーの配置を逐次タッチスクリーン上の各指の位置に最適化するアイズフリー文字入力手法である。

提案手法は、1 本指の一筆書きの軌跡に基づくアイズフリー文字入力手法である。したがって、スクリーンを分割

した領域に基づく手法とは異なり、タッチ開始の度に識別のための領域が更新される。また、指がスクリーンに触れる組み合わせに基づく手法とは異なり、1 本指のみを用いた入力が可能である。

2.3 スマートウォッチ向けの文字入力

スマートウォッチは身に付ける特性上タッチスクリーンが小さいため、Fat Finger 問題 [24] が発生し、小さなターゲットの選択が困難である。そのため、キーの配置および選択方法を工夫した研究がなされている [12,13,22,23,29,34]。

他にも、キーを選択する代替として、タッチスクリーン上の指の軌跡に基づく文字入力手法が提案されている。WatchWriter [10] は、スマートウォッチのタッチスクリーンに表示されるキーボード上における単語の綴り順にキーを通過するジェスチャによる高速かつ高精度な英語入力手法である。植野らは、スマートウォッチの円形スクリーン上にてスクリーン縁をなぞるジェスチャにより英字を入力する手法を提案している [35]。

一方、小さなタッチスクリーンを用いる代替として、スマートウォッチのベゼルおよび内蔵センサにて文字を入力する手法が提案されている。COMPASS [31] は、円形スマートウォッチのベゼル上のスライド操作による英語入力手法である。WrisText [9] は、スマートウォッチを装着した手首の捻る動作による英語入力手法である。

提案手法は、スクリーン上のキーを選択する代替として、指の軌跡に基づき入力する文字を選択するため、小さなターゲットの選択が不要である。また、提案手法はデバイスのベゼルおよび内蔵センサを用いないため、スケールのみを変更することによりスマートフォン上およびスマートウォッチ上における共通の操作による入力を可能にする。

3. 提案手法による文字入力

本節では、我々の提案するアイズフリー文字入力手法の設計、文字の入力手順、削除および確定の手順、および入力の例を述べる。

3.1 設計

我々は、アイズフリー条件下における粗いタッチ操作に対して堅牢であることを目標として、次のように提案手法を設計した。

- アイズフリー条件下における粗いタッチ操作 [7,30] から生じるジェスチャの識別エラーを軽減するため、タッチの開始位置を中心とする円形領域およびその外側の上下左右の 4 領域の計 5 領域 (図 1 左) のみをジェスチャ識別時に区別する。また、指が各領域を通過する順序に基づいて、入力される文字の子音および母音を一筆書きにより決定する。

- アイズフリー条件下におけるフィードバックの乏しさに対処するため、指とタッチスクリーンとの接触状態の変化を文字列の編集操作と関連付ける。指がタッチスクリーンに触れている間、子音の再入力を可能にし、指がタッチスクリーンから離れると、必ず文字列の編集操作（文字の入力、削除および確定）が生じる。

提案手法では、ユーザは子音ジェスチャによる子音入力および母音ジェスチャによる母音入力を組み合わせて文字を入力する。

子音ジェスチャは、iOS 標準のフリックキーボードのA行からラ行までの3×3のキー配列を参考とした。ただし、A行は子音ジェスチャを行わずに母音ジェスチャを行えるように、配列の中心に再配置し、カ行からナ行までを1つずつ左にずらして配置した。したがって、カ行からラ行の子音に対応するK, S, T, N, H, M, Y, およびRジェスチャが、図1右に示す位置に配置される。一方、母音ジェスチャは、iOS 標準のフリックキーボードの各キー上におけるフリック方向を参考とした。A段のジェスチャ図1左に示す領域a上にて指を離すジェスチャとした。また、イ, ウ, エ, オ段のジェスチャはそれぞれ図1左に示す領域i, u, e, o上にて指を離すジェスチャとした。

3.2 文字の入力手順

ユーザは、以下の3手順により文字を入力する。

(1) 領域の定義

タッチスクリーンにタッチすることにより、図1左に示すタッチ開始位置を中心とする円形領域（領域a）およびその外側の上下左右4方向の領域（領域u, o, i, およびe）が定義される。

(2) 子音入力

領域i, u, e, oを通過して領域aに戻るよう指を動かすことにより、図1右の子音を入力する。子音入力後に、続けて他の子音を入力することにより、子音の再入力が可能である。ただし、表1に示すように続けて特定の子音を入力すると、ア行, ワ行, 濁音, 半濁音, 小書き文字の子音入力となる。一方、子音入力を行わずにそのまま後述する母音を入力することも可能である。

(3) 母音入力

領域a内に指が触れている状態でタッチスクリーンから指を離すとA段を、領域i, u, e, およびoのいずれかに指を動かした後に離すとそれぞれイ, ウ, エ, およびオ段を入力する。指をタッチスクリーンから離す前に領域a内に指を戻すことにより、母音入力を取り消して子音入力のやり直しが可能である。指を離すことにより、入力した子音および母音に対応する文字が入力される。

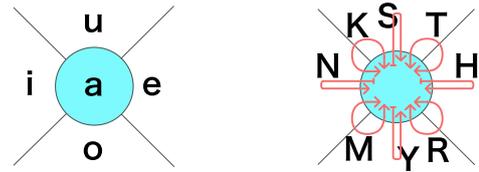


図1 入力識別に用いる5領域（左）および子音ジェスチャ（右）。

表1 子音ジェスチャとして指が通過する領域および母音ジェスチャとして指が離れる領域の組み合わせによる文字列の編集操作一覧。表中のかな文字は各文字の入力を示す。

子音ジェスチャ	通過する領域	離れる領域				
		a	i	u	e	o
なし	a-	あ	い	う	え	お
K	a-ua-	か	き	く	け	こ
	a-iua-					
K-N	a-ua-ia-	が	ぎ	ぐ	げ	ご
	a-iua-ia-					
S	a-ua-	さ	し	す	せ	そ
S-N	a-ua-ia-	ざ	じ	ず	ぜ	ぞ
T	a-uea-	た	ち	つ	て	と
	a-eua-					
T-N	a-uea-ia-	だ	ぢ	づ	で	ど
	a-eua-ia-					
T-N-N	a-uea-ia-ia-	っ	っ	っ	っ	っ
	a-eua-ia-ia-					
N	a-ia-	な	に	ぬ	ね	の
H	a-ea-	は	ひ	ふ	へ	ほ
H-N	a-ea-ia-	ば	び	ぶ	べ	ぼ
H-N-N	a-ea-ia-ia-	ば	び	ぶ	べ	ぼ
M	a-oia-	ま	み	む	め	も
	a-ioa-					
Y	a-oa-	や	い	ゆ	え	よ
Y-N	a-oa-ia-	や	い	ゆ	え	よ
R	a-oea-	ら	り	る	れ	ろ
	a-eoa-					
M-Y	a-oea-oa-	わ	を	ん	ー	ー
	a-eoa-oa-					
K-S	a-ua-ua-	あ	い	う	え	お
	a-iua-ua-					
K-S-N	a-ua-ua-ia-	あ	い	う	え	お
	a-iua-ua-ia-					
M-S	a-oia-ua-	削	確	削	確	削
	a-ioa-ua-	除	定	除	定	除

3.3 削除および確定の手順

ユーザは、以下の手順により1文字の削除および入力の確定を行う。

1 文字の削除

ジェスチャによる子音入力にて、Mジェスチャ後にSジェスチャを行うと、システムは削除ジェスチャおよび確定ジェスチャを受け付ける状態に遷移する。その後、ユーザは領域aに指が触れているときにタッチスクリーンから指を離す、または領域u, oのいずれかに指を動かした後

に指を離すことにより 1 文字を削除する。

入力の確認

システムが削除ジェスチャおよび確定ジェスチャの受け付け状態へ遷移した後に、領域 i , e のいずれかに指を動かしてから指を離すことにより入力を確定する。

3.4 入力の例

入力の例として図 2 に、「あした」(a_1 - a_4) および小書き文字「え」(b_1 - b_4) の入力手順を示す。

図 2 a_1 - a_4 に、「あした」の入力手順を示す。 a_1 にて、タッチ後に円形領域内にて指を離すことにより「あ」を入力する。 a_2 にて S ジェスチャによりサ行を入力する。 a_3 にて、円形領域外の左領域にて指を離すことによりイ段を入力し、「し」を入力する。そして、 a_4 にて、T ジェスチャによりタ行を入力し、円形領域内にて指を離すことにより「た」を入力する。

図 2 b_1 - b_4 に、「ばふ」入力後に続く小書き文字「え」の入力手順を示す。 b_1 および b_2 にて、K ジェスチャ後に S ジェスチャを行うことによりア行を再入力する。 b_3 にて、N ジェスチャにより小書き文字の入力に遷移する。そして、 b_4 にて、円形領域外の右領域にて指を離すことによりエ段を入力し、「え」を入力する。

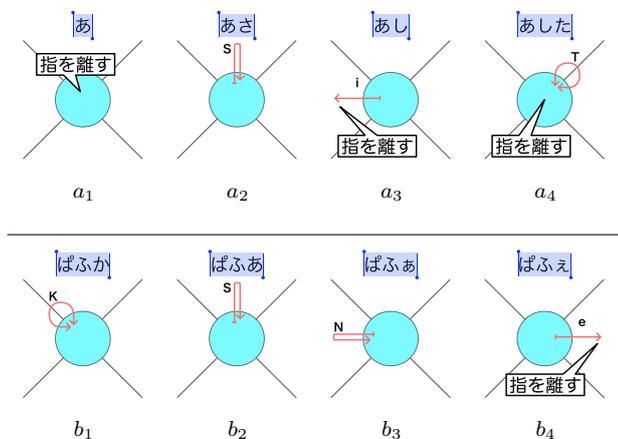


図 2 「あした」の入力例 (a_1 - a_4) および小書き文字「え」の入力例 (b_1 - b_4)。

4. 実装

我々は、スマートフォンおよびスマートウォッチ上で動作する提案手法のプロトタイプシステムを実装した。

プロトタイプシステムは、スマートフォン、およびスマートフォンと無線により接続されたスマートウォッチにより構成される。また、スマートフォンとして Apple 社の iPhone 7 (対角 4.7 インチ, 1334 × 750 ピクセル) を、スマートウォッチとして Apple 社の Apple Watch Series 3 38mm モデル (対角 1.337 インチ, 272 × 340 ピクセル) を用いた。

スマートフォンおよびスマートウォッチ上で動作するソフトウェアは、Swift を開発言語として、OS 標準のライブラリを用いて実装された。我々は実験的に領域 a の半径を、スマートフォンへの実装では 10.0 mm に、スマートウォッチへの実装では 3.7 mm にした。

5. 提案手法の入力性能評価

提案手法の入力性能を評価するため、スマートフォン上およびスマートウォッチ上に実装したプロトタイプシステムを用いて測定を行った。本節では、まずジェスチャによる入力のみによるアイズフリー条件下における入力性能の測定について述べ、次にプッシュボタンを併用するアイズフリー条件下における入力性能の測定について述べる。

5.1 実験 1: ジェスチャのみによる入力性能測定

実験 1 では、提案手法の各デバイス上における入力性能を明らかにするため、ジェスチャのみによるアイズフリー条件下における文字入力性能の測定を行った。

5.1.1 実験の設計および手順

実験参加者は、研究室内の学生 2 人 (全員が男性) であり、1 人が左利きであった。年齢は全員が 22 歳であった。参加者全員が、スマートフォンを使用した経験を持ち、普段右手を用いてスマートフォンを操作していた。また、参加者全員がスマートウォッチを使用した経験を持たなかった。

参加者のうち、1 人はスマートフォン上における入力性能の測定を行った後、スマートウォッチ上における入力性能の測定を行った。一方、残る 1 人は逆順に入力性能の測定を行った。

測定前に参加者は、年齢、利き手、デバイスの使用歴に関するアンケートに記入した。その後 10 分間以上、自由に文字を入力する練習を行った。練習時には、手元を見て文字を入力することが許された。各デバイス上における入力性能の測定間には、10 分以上の休憩をとった。参加者は、各デバイス上における入力性能の測定が終了した直後に、System Usability Scale (SUS) [4] を用いたアンケートに記入した。

実験の概観を図 3 に示す。参加者は、椅子に座り、操作するデバイスを遮蔽物により隠したアイズフリー条件下にて文字入力を行った。参加者は、各デバイスを右手にて操作するように指示された。スマートフォン上における文字入力では、スマートフォンを右手により把持し、右手親指を用いて操作するように指示された。一方、スマートウォッチ上における文字入力では、スマートウォッチを左手首に装着し、右手親指をスマートウォッチ左下の角に触れたまま右手人差し指を用いて操作する [16] ように指示された。

5.1.2 タスク

参加者はモニタに提示された短文を見て、できる限り短文を覚えてから手元のデバイス上で提示された文の入力

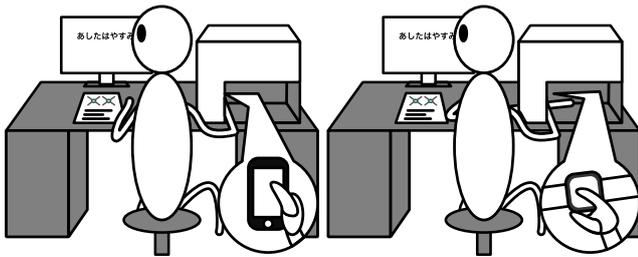


図 3 スマートフォン上 (左) およびスマートウォッチ上 (右) における入力時の概観。

を行った。入力中、参加者は自身が入力している文を見ることがも、振動あるいは音声による入力のフィードバックを得ることもなかった。

提示される短文として、6-8 文字からなる平均 7 文字の短文 40 個が用意された。このうち 24 個は、深津ら [33] が用いたものであり、残る 16 個は、提案手法により入力可能な文字をすべて含むように追加されたものである。標準小学国語辞典中のかな文字の統計 [36] に示される分布に対する 40 個の短文中のかな文字の分布の Kullback-Leibler 情報量 [17] は 0.10333 であり、分布間の L^2 距離 [27] は 0.00140 である。

40 個の短文はランダムな順序にて提示された。また、5 個の短文入力を 1 ブロックとして、1 ブロックの入力が終了するごとにモニタに入力速度とエラー率が表示された。参加者は、ブロック間に 5 分の休憩をとることが許された。

5.1.3 結果

我々は、まず測定結果として得られた入力性能の指標である入力速度およびエラー率を述べ、次にアンケートにより得られた定性的結果および記述回答を述べる。

入力速度およびエラー率

入力速度の指標として、1 分間あたりに入力されるかな文字数 (CPM) を用いた。また、エラー率の指標として、Soukoreff らの Minimum String Distance Error Rate (MSD) [19, 25, 26] を、入力された正しい文字数と入力されたが修正されなかった文字数から算出して用いた。

実験で得られた各ブロックの入力速度およびエラー率を図 4 に示す。以下では得られた結果のうち、はじめのブロックをウォームアップとして除いた結果を分析した。また、検定の有意水準は 5% とした。

スマートフォン上における入力速度は平均 20.2 CPM ($SD = 6.82$)、エラー率は平均 36.0% ($SD = 24.9\%$) であった。一方、スマートウォッチ上における入力速度は平均 16.3 CPM ($SD = 9.13$)、エラー率は平均 69.2% ($SD = 24.3\%$) であった。検定の結果、スマートフォン上における入力速度およびエラー率、ならびにスマートウォッチ上における入力速度およびエラー率はすべて正規性がなかった (それぞれ $p = .01602$ および $p = .004103$ 、ならびに $p = 3.559 \times 10^{-12}$ および $p = 8.943 \times 10^{-4}$)。ウィルコクソンの符号順位検定により、デバイス間の入力

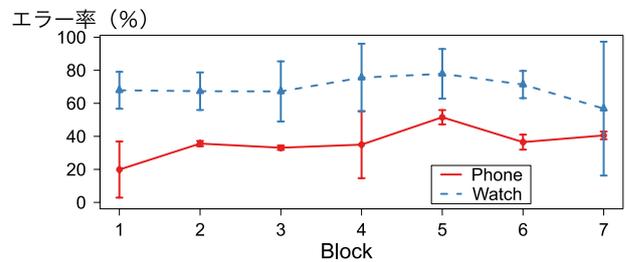
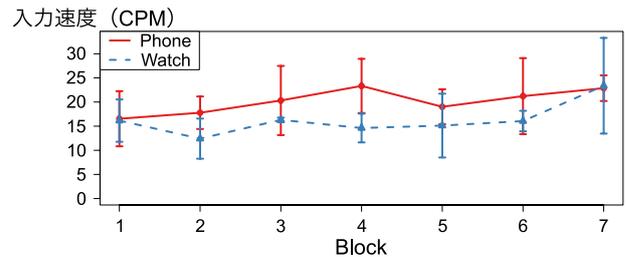


図 4 ジェスチャのみによる入力性能測定で得られた結果に対する、各ブロックの入力速度 (上) およびエラー率 (下)。エラーバーは各ブロックにおける参加者毎の平均間の標準偏差を示す。

速度およびエラー率双方に有意な差が示された (それぞれ $p = 1.621 \times 10^{-4}$ および $p = 2.629 \times 10^{-9}$)。したがって、入力速度およびエラー率の双方について、スマートフォン上における入力性能がスマートウォッチ上における入力性能を上回ることがわかる。

SUS スコアおよびアンケートの記述回答

SUS スコアは、スマートフォン上における入力に対して平均 51.3 ($SD = 12.4$)、スマートウォッチ上の入力に対して平均 41.3 ($SD = 5.30$) であった。これらは Bangor らの letter grade scale [3] に照らし合わせると最低評価の F であり、提案手法のジェスチャのみによる入力に対してユーザが使いづらい、あるいは覚えづらいと評価していることが示された。実際、参加者全員が確定ジェスチャに対して、ジェスチャが覚えづらかったこと、スマートウォッチ上において正確にジェスチャを入力することができなかったことをアンケートにて報告していた。

したがって我々は、提案手法について、確定ジェスチャが覚えづらい、あるいはその入力が困難であるために参加者が確定ジェスチャの入力を繰り返し失敗し、結果として入力のエラー率が高い、という仮説を立てた。そこで我々は、次に示す実験 2 により、上述の仮説を検証した。

5.2 実験 2: プッシュボタンを併用する入力性能測定

実験 2 では、確定ジェスチャが入力性能およびユーザビリティに影響を与えるかどうかを調査するため、確定ジェスチャの代替として入力の信頼性が高いと考えられるプッシュボタンを併用する場合の提案手法のアイズフリー入力性能について測定を行った。

5.2.1 実験の設計、手順、およびタスク

実験参加者は、実験 1 の参加者とは異なる研究室内の学生 2 人 (全員が男性) であり、全員が右利きであった。年

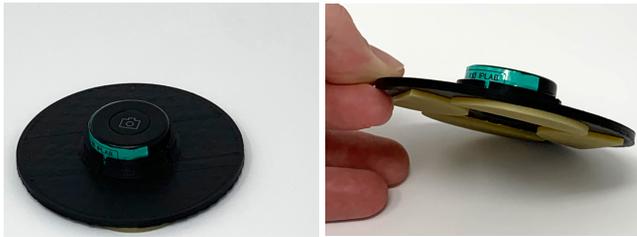


図 5 5.2 節の実験に用いたプッシュボタンおよび台座の上面 (左) および底面 (右)。

年齢は全員が 22 歳であった。参加者全員が、スマートフォンを使用した経験を持ち、普段右手を用いてスマートフォンを操作していた。また、参加者全員がスマートウォッチを使用した経験を持たなかった。

実験の設計、手順、およびタスクは、実験 1 と同様であった。ただし、実験 1 とは異なり、参加者は確定ジェスチャを入力する代替として、スマートフォンと Bluetooth 通信する自撮りリモコン (エレコム社 P-SRBBK) をプッシュボタンとして左手の人差し指にて押下することを求められた (図 5)。プッシュボタンは 3D プリンタで出力した台座に固定された。台座の裏面には滑り止めのためのゴムシートが貼付された。

5.2.2 結果

我々は実験 1 と同様に、まず測定結果として得られた入力速度およびエラー率を述べ、次にアンケートにより得られた SUS スコアおよび記述回答を述べる。

入力速度およびエラー率

実験で得られた各ブロックの入力速度およびエラー率を図 6 に示す。以下では得られた結果のうち、はじめのブロックをウォームアップとして除いた結果を分析する。また、検定の有意水準を 5% とする。

プッシュボタンを併用する場合、スマートフォン上における入力速度は平均 27.8 CPM ($SD = 10.9$)、エラー率は平均 15.8% ($SD = 14.7\%$) であった。一方、スマートウォッチ上における入力速度は平均 20.0 CPM ($SD = 8.91$)、エラー率は平均 26.9% ($SD = 28.6\%$) であった。検定の結果、スマートフォン上における入力速度およびエラー率、ならびにスマートウォッチ上における入力速度およびエラー率はすべて正規性がなかった (それぞれ $p = .01027$ および $p = 7.541 \times 10^{-6}$ 、ならびに $p = 4.635 \times 10^{-4}$ および $p = 5.852 \times 10^{-9}$)。ウィルコクソンの符号順位検定により、デバイス間における入力速度およびエラー率双方に有意な差が示された (それぞれ $p = 5.857 \times 10^{-4}$ および $p = .02907$)。したがって、スマートフォン上における入力性能がスマートウォッチ上における入力性能を上回る傾向が、プッシュボタンを併用する場合にも同様に見られる。

次に、プッシュボタンの有無により入力性能に差異があるかを調査するため、ウィルコクソンの順位和検定を行った。結果として、確定ジェスチャのみを用いたときと

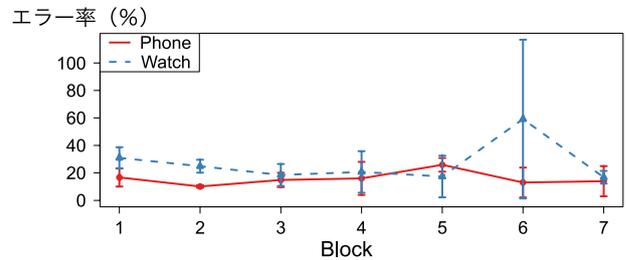
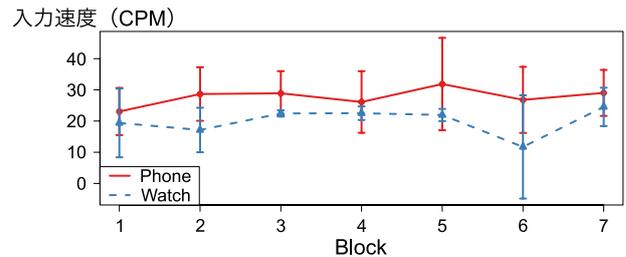


図 6 プッシュボタンを併用する入力性能測定で得られた結果に対する、各ブロックの入力速度 (上) およびエラー率 (下)。エラーバーは各ブロックにおける参加者毎の平均間の標準偏差を示す。

プッシュボタンを併用したときとの間に、スマートフォン上における入力速度およびエラー率、ならびにスマートウォッチ上における入力速度およびエラー率のすべてに対して有意な差が示された (それぞれ $p = 1.037 \times 10^{-5}$ および $p = 3.579 \times 10^{-7}$ 、ならびに $p = 6.010 \times 10^{-6}$ および $p = 5.576 \times 10^{-13}$)。したがって、提案手法について、確定ジェスチャが覚えづらい、あるいはその入力が困難であるために参加者が確定ジェスチャの入力を繰り返し失敗し、結果として入力のエラー率が高い、という仮説が実証された。また、提案手法は確定ジェスチャの入力が困難であり、確定ジェスチャの改善により提案手法の入力性能が向上することがわかった。

SUS スコアおよびアンケートの記述回答

SUS スコアは、スマートフォン上における入力に対して平均 50.0 ($SD = 0$)、スマートウォッチ上における入力に対して平均 52.5 ($SD = 7.07$) であった。これらは実験 1 にて得られた結果 (それぞれ平均 51.3 および平均 41.3) よりも高い値であるものの、Bangor の letter grade scale に照らし合わせると依然として最低評価の F であり、提案手法は確定ジェスチャの他にも、ユーザが使いづらい、あるいは覚えづらいと評価する問題点を持つことがわかった。

測定後の記述回答にて、参加者全員が「わをん」の入力を難しいと報告した。また、うち 1 人は濁音、半濁音、および小書き文字の入力も難しいと報告した。一方、残る 1 人は M ジェスチャおよび R ジェスチャの入力が困難であると報告した。したがって、提案手法は子音ジェスチャの設計に問題があると考えられる。

6. 議論

実験 1 および 2 の結果より、確定の方法によらず、ス

スマートフォン上における入力と比較してスマートウォッチ上における入力のエラー率が高いことがわかった。実験1および2の参加者のうち2人が、スマートウォッチ上における入力時に、指が意図せずにタッチスクリーンから離れることによりエラーが生じた可能性があるとして報告した。また、うち1人が、スマートウォッチのスクリーンに枠がないために指が離れてしまうことがあったと報告した。本稿にてスマートウォッチとして用いた Apple Watch はベゼルが丸く傾斜しているため、指がベゼル付近にてスクリーンから離れる可能性がある。したがって、スクリーン端に傾斜のないスマートウォッチを用いて比較を行い、スクリーン端の傾斜が入力性能に影響を与えるか調査する必要がある。

また、実験1および2の結果から、ブロック数の増加に対して入力性能の向上は見られなかった。一方、参加者全員が、自身が入力した文のフィードバックが全く得られないために正しく入力できているか分からないと報告した。したがって、正しく入力できているかに関するフィードバックが与えられるか否かが入力性能の向上に影響を与えるかを調査する必要がある。

加えて、本稿では提案手法による入力性能をスマートフォン上における入力性能とスマートウォッチ上における入力性能との比較により評価したものの、入力性能の評価には先行研究の示す手法および既存手法との入力性能の比較が求められる。単純な数値比較では、実験2にて得られた平均27.8 CPMおよび平均15.8%のエラー率は、Fukatsuらの先行研究 [6] にて報告された平均33.9 CPMおよび平均4.8%のエラー率と比較して劣っている。したがって、提案手法はエラー率を下げ、堅牢性を高めるため、参加者が困難であると指摘した確定ジェスチャおよび子音ジェスチャを再設計する必要がある。

7. おわりに

本稿にて、タッチスクリーン上の1本指の軌跡に基づくモバイル端末向けアイズフリーな文字入力手法を示した。提案手法は確定ジェスチャを改善する場合にも、フィードバックが全く与えられないアイズフリー条件下におけるかな文字入力時の入力性能が、スマートフォン上にて平均27.8 CPMおよび平均15.8%のエラー率、およびスマートウォッチ上にて平均20.0 CPMおよび平均26.9%のエラー率となることがわかった。また、提案手法の SUS スコアは確定ジェスチャを改善する場合においても、スマートフォン上の入力に対して平均50.0、スマートウォッチ上の入力に対して平均52.5という低い値であり、提案手法は、ユーザが使いがづらい、あるいは覚えづらいと評価する問題点を持つことがわかった。したがって、提案手法の堅牢性およびユーザビリティを高めるため、記述回答にて困難であると報告された確定ジェスチャおよび子音ジェスチャの再設

計が必要である。

参考文献

- [1] Aoki, R., Hashimoto, R., Miyata, A., Seko, S., Watanabe, M. and Ihara, M.: Move&Flick: Design and Evaluation of a Single-finger and Eyes-free Kana-character Entry Method on Touch Screens, *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*, ACM, pp. 311–312 (2014).
- [2] Azenkot, S.: Eyes-Free Input on Mobile Devices, Dissertation, University of Washington (2014).
- [3] Bangor, A., Kortum, P. and Miller, J.: An Empirical Evaluation of the System Usability Scale, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 24, No. 6, pp. 574–594 (2008).
- [4] Brooke, J.: SUS : A Quick and Dirty Usability Scale, *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189–194 (1996).
- [5] Cho, H. and Kim, C.: BubStack: A Self-revealing Chorded Keyboard on Touch Screens to Type for Remote Wall Displays, *Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference*, AH '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 23:1–23:2 (2014).
- [6] Fukatsu, Y., Shizuki, B. and Tanaka, J.: No-look Flick: Single-handed and Eyes-free Japanese Text Input System on Touch Screens of Mobile Devices, *Proceedings of the 15th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, ACM, pp. 161–170 (2013).
- [7] Gilliot, J., Casiez, G. and Roussel, N.: Impact of Form Factors and Input Conditions on Absolute Indirect-touch Pointing Tasks, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, New York, NY, USA, ACM, pp. 723–732 (2014).
- [8] Goldberg, D. and Richardson, C.: Touch-typing with a Stylus, *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '93, New York, NY, USA, ACM, pp. 80–87 (1993).
- [9] Gong, J., Xu, Z., Guo, Q., Seyed, T., Chen, X. A., Bi, X. and Yang, X.-D.: WrisText: One-handed Text Entry on Smartwatch Using Wrist Gestures, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, New York, NY, USA, ACM, pp. 181:1–181:14 (2018).
- [10] Gordon, M., Ouyang, T. and Zhai, S.: WatchWriter: Tap and Gesture Typing on a Smartwatch Miniature Keyboard with Statistical Decoding, *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 3817–3821 (2016).
- [11] Guimbretiére, F. and Winograd, T.: FlowMenu: Combining Command, Text, and Data Entry, *Proceedings of the 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '00, New York, NY, USA, ACM, pp. 213–216 (2000).
- [12] Hong, J., Heo, S., Isokoski, P. and Lee, G.: Split-Board: A Simple Split Soft Keyboard for Wristwatch-sized Touch Screens, *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, New York, NY, USA, ACM, pp. 1233–1236 (2015).
- [13] Ishii, A., Hakoda, H. and Shizuki, B.: Flickey: Flick-Based QWERTY Software Keyboard for Ultra-small Touch Screen Devices, *Human-Computer Interaction. Interaction Technologies*, Cham, Springer International

- Publishing, pp. 31–42 (2018).
- [14] Kristensson, P. O.: Discrete and Continuous Shape Writing for Text Entry and Control, Dissertation, Linköping University (2007).
- [15] Kristensson, P. O. and Zhai, S.: SHARK²: A Large Vocabulary Shorthand Writing System for Pen-based Computers, *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '04, New York, NY, USA, ACM, pp. 43–52 (2004).
- [16] Kubo, Y., Shizuki, B. and Tanaka, J.: B2B-Swipe: Swipe Gesture for Rectangular Smartwatches from a Bezel to a Bezel, *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 3852–3856 (2016).
- [17] Kullback, S. and Leibler, R. A.: On Information and Sufficiency, *The Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 22, No. 1, pp. 79–86 (1951).
- [18] Kuno, Y. and Shizuki, B.: Meyboard: A QWERTY-Based Soft Keyboard for Touch-Typing on Tablets, *Human-Computer Interaction. Interaction Contexts*, Cham, Springer International Publishing, pp. 193–207 (2017).
- [19] MacKenzie, I. S. and Soukoreff, R. W.: A Character-level Error Analysis Technique for Evaluating Text Entry Methods, *Proceedings of the Second Nordic Conference on Human-computer Interaction*, NordiCHI '02, New York, NY, USA, ACM, pp. 243–246 (2002).
- [20] MacKenzie, I. S. and Zhang, S. X.: The Immediate Usability of Graffiti, *Proceedings of the Conference on Graphics Interface '97*, Toronto, Ont., Canada, Canada, Canadian Information Processing Society, pp. 129–137 (1997).
- [21] Perlin, K.: Quikwriting: Continuous Stylus-based Text Entry, *Proceedings of the 11th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '98, New York, NY, USA, ACM, pp. 215–216 (1998).
- [22] Shao, Y.-F., Chang-Ogimoto, M., Pointner, R., Lin, Y.-C., Wu, C.-T. and Chen, M.: SwipeKey: A Swipe-based Keyboard Design for Smartwatches, *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 60–71 (2016).
- [23] Shibata, T., Afergan, D., Kong, D., Yuksel, B. F., MacKenzie, I. S. and Jacob, R. J.: DriftBoard: A Panning-Based Text Entry Technique for Ultra-Small Touchscreens, *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 575–582 (2016).
- [24] Siek, K. A., Rogers, Y. and Connelly, K. H.: Fat Finger Worries: How Older and Younger Users Physically Interact with PDAs, *Proceedings of the 9th IFIP TC 13 International Conference on Human-computer Interaction*, INTERACT '05, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, pp. 267–280 (2005).
- [25] Soukoreff, R. W. and MacKenzie, I. S.: Measuring Errors in Text Entry Tasks: An Application of the Levenshtein String Distance Statistic, *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '01, New York, NY, USA, ACM, pp. 319–320 (2001).
- [26] Soukoreff, R. W. and MacKenzie, I. S.: Metrics for Text Entry Research: An Evaluation of MSD and KSPC, and a New Unified Error Metric, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, New York, NY, USA, ACM, pp. 113–120 (2003).
- [27] Sugiyama, M., Kanamori, T., Suzuki, T., Plessis, M. C. d., Liu, S. and Takeuchi, I.: Density-Difference Estimation, *Neural Computation*, Vol. 25, No. 10, pp. 2734–2775 (2013). PMID: 23777524.
- [28] Tinwala, H. and MacKenzie, I. S.: Eyes-free Text Entry with Error Correction on Touchscreen Mobile Devices, *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*, NordiCHI '10, New York, NY, USA, ACM, pp. 511–520 (2010).
- [29] Tojo, T., Kato, T. and Yamamoto, S.: BubbleFlick: Investigating Effective Interface for Japanese Text Entry on Smartwatches, *Proceedings of the 20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '18, New York, NY, USA, ACM, pp. 44:1–44:12 (2018).
- [30] Wang, Y., Yu, C., Liu, J. and Shi, Y.: Understanding Performance of Eyes-free, Absolute Position Control on Touchable Mobile Phones, *Proceedings of the 15th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '13, New York, NY, USA, ACM, pp. 79–88 (2013).
- [31] Yi, X., Yu, C., Xu, W., Bi, X. and Shi, Y.: COMPASS: Rotational Keyboard on Non-Touch Smartwatches, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, New York, NY, USA, ACM, pp. 705–715 (2017).
- [32] Zhai, S. and Kristensson, P. O.: Shorthand Writing on Stylus Keyboard, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, New York, NY, USA, ACM, pp. 97–104 (2003).
- [33] 深津佳智, 志築文太郎, 田中二郎: No-look Flick: 携帯情報端末のタッチパネルにおけるアイズフリーな片手かな文字入力システム, 第20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論文集, 日本ソフトウェア科学会, pp. 133–138 (2012).
- [34] 東條貴希, 加藤恒夫, 山本誠一: BubbleSlide: フリック操作の規則性を高めたスマートウォッチ向け日本語かな入力インタフェース, インタラクシオン2018, 情報処理学会, pp. 1048–1053 (2018).
- [35] 植野圭一, 郷健太郎, 木下雄一郎: 小型円形タッチスクリーンを対象とした縁なぞり操作による文字入力手法, インタラクシオン2016, 情報処理学会, pp. 473–477 (2016).
- [36] 片桐 宏, 瀬崎信彦: かな文字の統計, *National Technical Report*, Vol. 14, No. 2, pp. 140–152 (1968).
- [37] 佐藤大介, 志築文太郎, 三浦元喜, 田中二郎: Popie: フローメニューに基づく日本語入力手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 7, pp. 2305–2316 (2006).
- [38] 井川洋平, 宮下芳明: アイズフリーで速記できる「方向のみ」のフリック入力手法, インタラクシオン2013, 情報処理学会, pp. 651–656 (2013).