

筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類

卒業研究論文

指による一筆書きの軌跡を用いた
モバイル端末向けアイズフリーかな入力

漆山 裕太

指導教員 志築 文太郎

2019年 1月

概要

アイズフリー文字入力とは、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を視認せずにメモ取りなどの文字入力を可能とするため、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正確性を欠くため、不正確なタッチ操作に対する堅牢性が文字入力手法に求められる。そこで我々は、タッチ開始位置を中心とする5領域上の一筆書きによる通過のみにより、1文字の子音および母音の双方の入力を可能とする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。プロトタイプシステムを評価した結果、スマートフォン上の入力性能は平均 20.2 CPM および 36.0%のエラー率であり、スマートウォッチ上の入力性能は平均 16.3 CPM および 69.2%のエラー率であった。プロトタイプシステム使用後のアンケートにて困難であると回答された確定ジェスチャの代替としてボタンを用いて再度評価した結果、提案手法の入力性能は、スマートフォン上にて平均 20.2 CPM および 36.0%のエラー率であり、スマートウォッチ上にて平均 16.3 CPM および 69.2%のエラー率であった。プロトタイプシステム使用後のアンケートの回答を受け改善を行う場合にも、提案手法の入力性能は、スマートフォン上にて平均 15.8%、スマートウォッチ上にて平均 26.9%のエラー率になることがわかった。また、SUS スコアより、提案手法はユーザが使いづらい、あるいは覚えづらいと評価され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ジェスチャの再設計が必要である。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	目的とアプローチ	1
1.3	貢献	2
1.4	本論文の構成	2
第2章	関連研究	4
2.1	軌跡に基づく文字入力	4
2.1.1	FlowMenuによる手法	4
2.1.2	字体に基づく手法	5
2.1.3	ソフトウェアキーボード上の手法	5
2.1.4	その他の手法	6
2.2	アイズフリー文字入力	6
2.2.1	指によるアイズフリー文字入力	6
2.2.2	特別なハードウェアを用いたアイズフリー文字入力	6
2.2.3	音声による文字入力	7
2.3	スマートウォッチ向けの文字入力	7
2.3.1	タッチスクリーンを用いた文字入力	7
2.3.2	センサを用いた文字入力	8
第3章	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	9
3.1	初期の提案手法	9
3.1.1	設計	9
3.1.2	文字の入力手順	10
	領域の較正	10
	子音入力	10
	母音入力	10
3.1.3	削除および確定の手順	12
	入力文字の変換	12
	1文字の削除	12
	入力の確定	12
3.1.4	予備実験	12

3.1.5	得られた改良案	13
3.2	改良後の提案手法	14
3.2.1	設計の改良	14
3.2.2	文字の入力手順の改良	16
3.2.3	入力の例	16
第4章	プロトタイプシステムの実装	18
4.1	プロトタイプシステムの構成	18
4.2	デバイス固有の設定	18
4.3	ジェスチャの識別方法	18
第5章	評価実験	20
5.1	測定実験用のソフトウェアの構成	20
5.2	実験1: ジェスチャのみによる入力性能測定	20
5.2.1	実験の設計および手順	21
5.2.2	タスク	23
5.2.3	結果	23
	入力速度およびエラー率	23
	SUS スコアおよびアンケートの記述回答	24
5.3	実験2: ボタンを併用する入力性能測定	25
5.3.1	実験の設計, 手順, およびタスク	25
5.3.2	結果	25
	入力速度およびエラー率	25
	SUS スコアおよびアンケートの記述回答	27
5.4	実験3: 文の再現度調査	28
5.4.1	実験の設計, 手順およびタスク	28
5.4.2	結果	29
第6章	議論	33
6.1	実験結果に対する考察	33
6.2	今後の展望	34
6.2.1	スリープ時のメモ取り機能	34
6.2.2	物体の表面上における文字入力	34
第7章	おわりに	35
	謝辞	36
	参考文献	37
	著者論文リスト	43

付録 A	実験の際に用いた各種書類	44
A.1	実験 1 にて配布された説明資料	45
A.2	実験 2 にて配布された説明資料	47
A.3	実験 1 および実験 2 にて配布された説明図	49
A.4	測定前に行ったアンケート	50
A.5	スマートフォン上における測定終了後に行ったアンケート	52
A.6	スマートウォッチ上における測定終了後に行ったアンケート	53
A.7	実験 1 および実験 2 の双方の測定終了後に行ったアンケート	54
付録 B	実験時に提示された文	55
B.1	予備実験の際に提示された文 10 個	56
B.2	評価実験の際に提示された文 40 個	57

目次

1.1	スマートフォン上（左）およびスマートウォッチ上（右）で動作するプロトタイプシステム.	2
3.1	入力の識別に用いる5領域（左），カ行からラ行の子音ジェスチャ（中央）およびその他の子音ジェスチャ（右）.	10
3.2	改良後の子音ジェスチャ一覧.	16
3.3	改良後の提案手法による「あした」の入力例（ a_1-a_4 ），小書き文字「え」の入力例（ b_1-b_4 ）および半濁音「ぺ」ならびに小書き文字「っ」の入力例（ c_1-c_8 ）.	17
4.1	スマートフォンのタッチスクリーン上における入力領域.	19
5.1	スマートフォン上（左）およびスマートウォッチ上（右）における測定実験の概観.	21
5.2	スマートフォン上（左）およびスマートウォッチ上（右）における入力時の様子.	22
5.3	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.	24
5.4	5.3節の実験に用いたボタンおよび台座（左：上面，右：底面）.	26
5.5	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.	27
5.6	実験1の参加者の実験1で入力した文の加工の有無毎の再現率. 加工前後の間に有意な差は示されなかった.	30
5.7	実験1の参加者の実験1で入力した文の入力者毎の再現率. Selfは自身の入力した文の，Otherは他者の入力した文の再現率を示す. 入力者間に有意な差は示されなかった.	30
5.8	実験1の参加者の実験1で入力した文のデバイス毎の再現率. Phoneはスマートフォン上にて入力された文の，Watchはスマートウォッチ上にて入力された文の再現率を示す. デバイス間に有意な差が示された.	31

5.9	実験2の参加者の実験2で入力した文の入力者毎の再現率。Selfは自身の入力した文の、Otherは他者の入力した文の再現率を示す。入力者間に有意な差は示されなかった。	31
5.10	実験2の参加者の実験2で入力した文のデバイス毎の再現率。Phoneはスマートフォン上にて入力された文の、Watchはスマートウォッチ上にて入力された文の再現率を示す。デバイス間に有意な差が示された。	32

第1章 はじめに

本論文にて、我々の提案する1本の指による一筆書きの軌跡を用いたタッチスクリーン搭載のモバイル端末向けアイズフリーかな入力手法を示す。本章では、まず背景としてアイズフリー文字入力の有用性と先行研究の問題点を示す。次に本研究の目的とアプローチを示す。その後、本研究の貢献を示し、最後に本論文の構成を示す。

1.1 背景

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、これらの状況において、モバイル端末のスクリーンを視認せずにメモあるいはメッセージの文字入力を可能とするため、有用である。さらに、日常的に携帯している手元の端末上で、周囲の人々に入力する内容が知られずに視線を保ちつつ文字入力できれば、町中を歩きながら思いついたポエムをメモしたり、会議中こっそりと友人へメッセージを送信したりできる。周囲の人々に入力する内容が知られないためには、音声を用いずに入力する手法が適していると考えられる。また、日常的に携帯する端末として一般的なスマートフォンやスマートウォッチの多くにはタッチスクリーンが搭載されているため、タッチ操作を用いる手法は実用的であると考えられる。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 [GCR14, WYLS13]。したがって、不正確なタッチ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。

1.2 目的とアプローチ

我々は、日常的に携帯するデバイスを用いた、公共の場を含めたあらゆる場面で利用可能なアイズフリー文字入力の実現を目標とする。

アイズフリー条件下での不正確なタッチに対する堅牢な入力を実現するためのアプローチの一つに、一筆書きの軌跡を1文字1文字に対して割り当てる方法がある(例として [GR93, TM10])。このアプローチでは、ユーザはタッチスクリーン上のどこからでも入力したい文字に対応する軌跡の入力を始められるため、タッチの不正確さに対して入力手法は堅牢である。しかし、日本語入力手法では、入力可能な文字の種類が清音のひらがなのみに絞っても46種類存在するため、1文字に対して一つの一筆書きの軌跡を割り当てると、記憶する必要のある軌跡形状の数が増大する。また、周囲の騒音が大きいパーティ会場では音声による入力のフィード

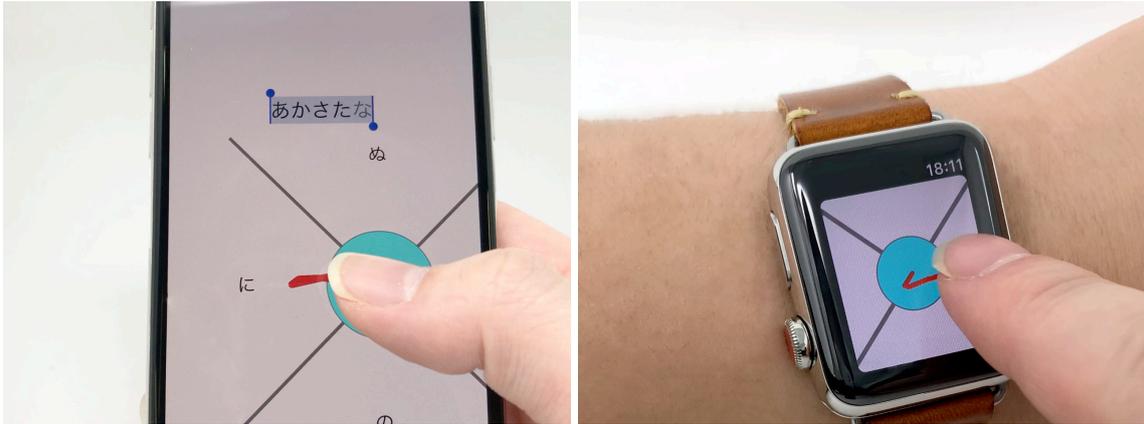


図 1.1: スマートフォン上（左）およびスマートウォッチ上（右）で動作するプロトタイプシステム。

バックが阻害され、揺れの生じる飛行機ならびに電車内では端末の振動による入力のフィードバックが阻害されるため、あらゆる場面で利用可能なフィードバックを模索する必要がある。

我々は、これらの問題点を解決する、1本の指による一筆書きの軌跡を用いたモバイル端末向けアイズフリーかな入力手法を設計し、スマートフォン上およびスマートウォッチ上で動作するプロトタイプシステムを実装した（図 1.1）。提案手法では、アイズフリー条件下の不正確なタッチ操作に対する堅牢性を期待して、一筆書きの軌跡をかな文字の入力のために用いる。記憶する必要のある軌跡形状の数を削減するため、かな文字の発音が子音と母音により構成されることを利用して、各文字に対応する一筆書きの軌跡を子音部と母音部の組み合わせにより定義する。また、すべての文字が一筆書きの軌跡により入力できるため、指のタッチスクリーンへの接触状態があらゆる場面で利用可能なフィードバックとなる。

1.3 貢献

本研究の貢献を以下に挙げる。

1. 1本の指による一筆書きの軌跡を用いたモバイル端末向けアイズフリーかな入力手法の設計およびプロトタイプシステムの実装
2. スマートフォン上およびスマートウォッチ上におけるプロトタイプシステムを用いた実験による提案手法の入力性能の評価

1.4 本論文の構成

1章では、研究の背景であるアイズフリー文字入力の有用性と先行研究の問題点、本研究の目的とアプローチ、および本研究の貢献を示した。2章では、本研究に関連のある研究を述べ

る。3章では，初期および改良後の提案手法の設計，入力手順，ならびに入力の例を述べる。4章では，提案手法のプロトタイプシステムの実装を述べる。5章では，プロトタイプシステムを用いた提案手法の評価実験を述べる。6章では，提案手法に対する議論と今後の展望を示す。7章では，本研究の結論を述べる。

第2章 関連研究

本研究は、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の研究である。本章では、ペンや指により生成される軌跡に基づく文字入力、アイズフリー文字入力、およびタッチスクリーンの小さいスマートウォッチ向けの文字入力に関する研究と本研究との位置づけを述べる。

2.1 軌跡に基づく文字入力

ペン型デバイスや指によりスクリーン上に生成される軌跡に基づく文字入力手法が提案されてきた。本節では、まず提案手法と関連の深い FlowMenu による手法を述べ、その後、字体に基づく手法、ソフトウェアキーボード上の手法、およびその他の手法を順に述べる。

2.1.1 FlowMenu による手法

FlowMenu [GW00] は、ペン型デバイスによる操作を対象とした階層をもつメニューである。ペン型デバイス上のボタンやペン以外のデバイス上のボタンを押すことにより、ペン先の位置を中心とする円形領域（レストエリア）とその外側を8分割した領域（オクタント）がスクリーンに表示され、オクタント上に操作の主目的を選択するためのトップレベルメニューが表示される。ユーザがレストエリアからオクタントにペン先を移動させることによりトップレベルメニューを選択すると、8つのオクタントに主目的に対応する補助的操作を選択するためのサブメニューが表示される。ユーザはさらに別のオクタントにレストエリアを通過せずにペン先を移動させ、その後レストエリアにペン先を戻すことにより、サブメニューを選択する。一方、オクタントからレストエリアにペン先を戻す前にスクリーンからペン先を離すことにより、メニュー選択を中止することが可能である。FlowMenu はペン先の位置を中心とする領域を識別に用いるため、スクリーン上のペン先の位置に左右されず同様の操作によりメニュー選択を行うことができる。

Quikwriting [Per98] は、FlowMenu 同様に中央の領域とそれを囲む8つの領域を用いる、ペン型デバイスによる文字入力手法である。ユーザは中央の領域からいくつかの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である。FlowMenu ではメニュー選択の他にも、Quikwriting による文字入力が可能である。

Popie [佐藤 06] は, FlowMenu を拡張した日本語入力手法である. オクタントをペン先を中心とするドーナツ状の領域を 8 分割した各領域に配置し, オクタントよりもさらに外側の領域を識別に用いることにより, 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している.

我々は, アイズフリー条件下ではタッチした位置を認識することが困難であるため, スクリーン上のどこでも同様の操作による文字入力を可能にする必要があると考えた. したがって提案手法では, FlowMenu, Quikwriting, および Popie 同様に, 中央の領域とそれを囲む領域を識別に用い, 指の軌跡が領域を通過する順序に基づいて文字を入力する. 一方, 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な文字入力を期待して, 提案手法では外側の領域を 4 つに, 中央の領域に戻る前にジェスチャが通過する外側の領域を 2 つ以下にした.

2.1.2 字体に基づく手法

FlowMenu による手法以外にも, 軌跡に基づく文字入力手法として, 字体に基づく軌跡を用いた手法が提案されてきた. Unistrokes [GR93] は, ラテンアルファベットの各文字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 [MZ97] は, ラテンアルファベットの各字体に近づけた一筆書きの軌跡の識別器であり, 実験参加者が 5 分間の練習により 97% の精度にてペン型デバイスにより英字入力できたことが示された. Tinwala ら [TM10] 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した.

以上の 1 文字につき 1 種類の軌跡を割り当てるという字体に基づく手法には, 字体を基にすることによりユーザが軌跡の形状を記憶しやすいという利点がある一方で, 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. したがって本研究では, 字体に基づく手法の採用を見送った. ただし, ユーザが軌跡の形状を記憶しやすくするため, 提案手法で用いる軌跡の形状の一部は字体をモチーフとして設計した.

2.1.3 ソフトウェアキーボード上の手法

ソフトウェアキーボード上のキーを通過する軌跡を用いた文字入力手法も存在する. SHARK [ZK03], SHARK² [KZ04], および Kristensson の Continuous Shape Writing [Kri07] は, ソフトウェアキーボード上にて単語の綴り順に指が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.

本研究は手元を視認しないアイズフリー条件下における文字入力を対象としているため, ソフトウェアキーボード上のキーの位置を確認する必要のあるこれらの手法の採用を見送った.

2.1.4 その他の手法

FlowMenu, 字体, および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。Move&Flick [AHM⁺14] 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 [井川 13] は, 子音と母音を8方向へのフリックを2回行うことによる日本語かな文字入力を提案している。

提案手法はMove&Flick および井川らの手法が指の移動を8方向に区別する点と異なり, 上下左右の4方向に分割した領域をジェスチャの識別に用いる。

2.2 アイズフリー文字入力

アイズフリー文字入力とは, 文字通り「目で見る必要がない」文字入力のことを指すが, 単に入力時に手元を見る必要がないことを指している研究 [CK14, KS17, WZF18] から, 入力した内容まで目で確認する必要がないことを指している研究 [TM08, AHM⁺14, 井川 13, FST13, Aze14] まで, 様々な解釈がなされている。本研究は入力時に周囲への視覚的注意を必要とする状況を想定し, アイズフリー文字入力を入力した内容まで目で確認する必要がないことを指している言葉として捉えるものの, ここでは解釈によらず, アイズフリー文字入力として提案された研究およびアイズフリー文字入力として利用可能な手法を紹介する。

2.2.1 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 [TM10], Move&Flick [AHM⁺14], および井川らの手法 [井川 13] 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 [FST13] 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, タッチスクリーン上に触れる複数の指の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 [CK14] および Perkinput [Aze14] が提案されている。Meyboard [KS17] は, 特定の組み合わせにて複数の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。

2.2.2 特別なハードウェアを用いたアイズフリー文字入力

手元を視認せずに文字を入力するために, 特別なハードウェアを用いる手法が研究されている。FingerT9 [WZF18] は, ユーザが指に装着した静電容量センサを用いて, 片手のみのスマートウォッチ上の英字入力ができることを示した。PocketTouch [SHB11] は, ユーザがポケットの上から字体に基づく軌跡を描くことによりアイズフリー英字入力を可能にする, 静電容量センシングを用いたハードウェアである。

提案手法はこれらの手法とは異なり，スマートフォンやスマートウォッチ搭載のタッチスクリーンのみを入力のために用いる．

2.2.3 音声による文字入力

Siri [App] や Google アシスタント [Goo] などの音声アシスタント製品には，音声により文を入力して送信する機能が搭載されている．これらの音声による文字入力はアイズフリー文字入力として利用可能であるが，騒音が大きい環境下では使用できない，文字入力のために会話を中断する必要がある，および公共の場での入力内容の発話にはプライバシーやセキュリティの問題が生じるという制限がある．

提案手法はタッチスクリーン上の指の軌跡に基づく手法であるため，これらの制限を回避できる．

2.3 スマートウォッチ向けの文字入力

タッチスクリーンの小さいスマートウォッチ向けの文字入力が提案されてきた．本節では，タッチスクリーンを用いた文字入力およびセンサを用いた文字入力を述べる．

2.3.1 タッチスクリーンを用いた文字入力

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，操作対象となるターゲットの個数が多いと各ターゲットが小さくなりやすい．一方で，小さなターゲットは操作する指に隠れやすく，ターゲットの正確な選択が困難となる **Fat Finger 問題 [SRC05]** が発生する．そのため，ターゲットを選択しやすく工夫したタッチスクリーンを用いた文字入力手法が提案されている．**SwipeKey [SCOP⁺16]** は，フリック入力のようにキー上のスワイプを用いることによりスクリーン上のキー数を削減することにより，各キーの領域を拡大した英字入力手法である．**BubbleFlick [TKY18]** は，円形スクリーンの縁に子音を配置し，各子音の位置から角度の異なるフリック操作により母音を選択することにより，文字のキー領域を広げ，かつスクリーン上に文字列の編集操作のための領域を確保したかな文字入力手法である．**BubbleSlide [東條 18]** は **BubbleFlick** を改良した手法であり，フリックの代わりにスライドする距離を用いることにより，入力するかな文字の行ごとにフリック方向が異なる課題を解決している．**Flickey [IHS18]** は，キーボードの QWERTY 配列を 3 行 10 列の表に変形したソフトウェアキーボードを用いて，ユーザがソフトウェアキーボード上の左右へのスワイプにより列を選択した後に，上下へのフリックまたは指を離す動作により行を選択することにより各キーを選択する英字入力手法である．上下へのフリックまたは指を離す動作を用いることにより，縦方向の精密なタッチ操作を不要としている．**DriftBoard [SAK⁺16]** は，QWERTY 配列のソフトウェアキーボードをスライド操作により移動させ，固定位置のカーソルと入力したいキーを重ねて指を離すことにより英字を入力する手法である．指の移動量とパンの移

動量との比は任意に設定できるため、直接キーをタップすることに比べ不正確なタッチ操作による入力を可能にしている。SplitBoard [HHIL15] は、QWERTY 配列に基づくソフトウェアキーボードを左右に分割し、ソフトウェアキーボード上の左右へのフリックにより分割した左半分と右半分との表示を入れ替えることにより、各キーの領域を拡大した英字入力手法である。

他にも、小さなターゲットを選択する必要のない、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 [GOZ16] は、ユーザがタッチスクリーンに表示される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を行うと、通過したキーから推定した単語が入力される、高速かつ高精度な英語入力手法である。植野ら [植野 16] は、円形スクリーンの縁をなぞるジェスチャを用いた英字入力手法を提案している。

提案手法は、ユーザにスクリーン上のキーを選択させるのではなく、指の軌跡に基づき文字を選択させるため、小さなターゲットの選択が不要である。また、提案手法は指の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ため、ユーザはタッチスクリーンに表示されるキーボードを視認する必要がない。さらに、提案手法は指のタッチ開始位置を基準として相対的に識別のための領域を定義するため、異なる形状のタッチスクリーン上における入力を可能にする。

2.3.2 センサを用いた文字入力

スマートウォッチ上の小さなタッチスクリーン以外のセンサを用いて文字を入力する手法が提案されている。

COMPASS [YYX⁺17] は、ベゼルの回転を取得可能な円形スマートウォッチを用いて、ユーザがベゼルを回転させて文字を選択する英語入力手法である。WrisText [GXG⁺18] は、スマートウォッチのベルト部分に赤外線近接センサアレイを取り付けて手首の形状を取得することにより、スマートウォッチを装着した手首の捻る動作により英語の入力を可能とした手法である。

提案手法はタッチスクリーン以外の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いて共通の操作による入力を可能にする。

第3章 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

提案手法は、タッチスクリーン上の指の軌跡が通過する領域の順序に基づく、モバイル端末向けのアイズフリーかな文字入力手法である。本章では、初期の提案手法と改良後の提案手法を順に述べる。

3.1 初期の提案手法

まず、初期の提案手法における設計、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。

3.1.1 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 [GCR14, WYLS13] 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3.1左）のみをジェスチャ識別時に区別するように提案手法を設計した。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ようにした。

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。

子音ジェスチャの配置は、iOS標準のフリックキーボードのア行からラ行までの3×3のキー配列を参考とした。ただし、ア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3.1中央に示す位置に配置される。その他の子音に対応するジェスチャは、図3.1右に示す位置に配置される。「わをん」に対応するWジェスチャは、大文字“W”の書き順を参考として、Yジェスチャを2度繰り返すものとした。また、濁音の子音に対応するG, Z, D, およびBジェスチャは、それぞれ清音の子音ジェスチャであるK, S, T, およびHジェスチャを2度繰り返すものとした。そして、半濁音の子音に対応するPジェスチャは、一度清音の子音ジェスチャであるHジェスチャと反対方向のNジェスチャを行ったあとにHジェスチャを行うものとした。

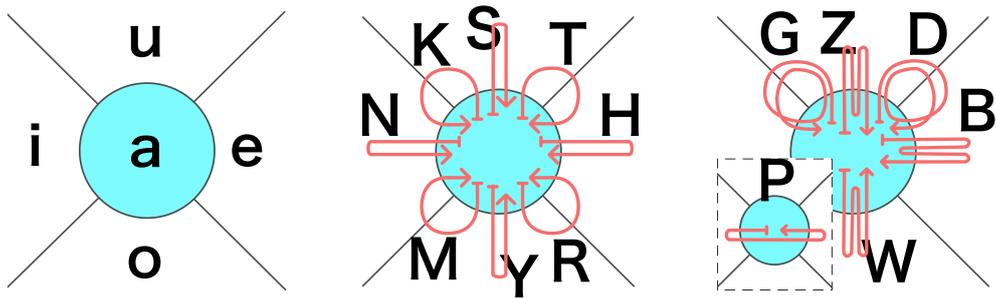


図 3.1: 入力識別に用いる 5 領域 (左), カ行からラ行の子音ジェスチャ (中央) およびその他の子音ジェスチャ (右).

一方、母音ジェスチャの配置は、iOS 標準のフリックキーボードの各キー上にて各母音が 4 方向へのフリックあるいはタップにより選択されることに従って、中央の領域内を始点とする 4 方向へのスワイプまたは中央の領域内でのタッチアップとした。ア段のジェスチャ図 3.1 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、およびオ段のジェスチャはそれぞれ図 3.1 左に示す領域 i, u, e, および o 上にて指を離すジェスチャとした。

提案手法により入力可能な文字列の編集操作一覧を表 3.1 に示す。

3.1.2 文字の入力手順

ユーザは、領域の較正、子音入力、および母音入力の 3 手順により文字を入力する。

領域の較正

タッチスクリーンにタッチすることにより、図 3.1 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) が較正される。

子音入力

図 3.1 中央または右の子音ジェスチャに示す矢印の通過順通りに、一度または二度領域 i, u, e, および o を通過して領域 a に戻るよう指を動かすことにより、ジェスチャに対応する子音を入力する。一方、子音入力を行わずにそのまま母音を入力することも可能である。この場合、ア段の文字を入力できる。

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ア段を、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。

表 3.1: 初期の提案手法における，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-uia-	か	き	く	け	こ
G	a-uia-uia-	が	ぎ	ぐ	げ	ご
S	a-ua-	さ	し	す	せ	そ
Z	a-ua-ua-	ざ	じ	ず	ぜ	ぞ
T	a-uea-	た	ち	つ	て	と
D	a-uea-uea-	だ	ぢ	づ	で	ど
N	a-ia-	な	に	ぬ	ね	の
H	a-ea-	は	ひ	ふ	へ	ほ
B	a-ea-ea-	ば	び	ぶ	べ	ぼ
P	a-ia-ea-	ぱ	ぴ	ぷ	ぺ	ぽ
M	a-oia-	ま	み	む	め	も
Y	a-oa-	や	い	ゆ	え	よ
R	a-oea-	ら	り	る	れ	ろ
W	a-oa-oa-	わ	を	ん	ー	ー
記号	a-oea-oea-	,	.	?	!	ー
削除	a-ia-	削除	削除	削除	削除	削除

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。

3.1.3 削除および確定の手順

ユーザは，以下の手順により入力文字のトグル，1文字の削除，および入力の確定を行うことができる。

入力文字の変換

かな文字の入力後に，M ジェスチャと逆順のジェスチャを行うことにより，入力したかな文字を各文字に対応する濁音，半濁音，および小書き文字へと順に変換する。

1文字の削除

ジェスチャによる子音入力にて，K ジェスチャと逆順のジェスチャを行ってから指を離すことにより，1文字を削除する。

入力の確定

ジェスチャによる子音入力にて，T ジェスチャの逆順のジェスチャを行ってから指を離すことにより，文字列の入力を確定する。

3.1.4 予備実験

初期の提案手法に対して，手元を視認しない条件下における入力性能を調査するため，著者による予備実験を行った。

実験にはスマートフォンとして iPhone 7 を用いた。予備実験におけるタスクは，外部ディスプレイに提示されたかな文字からなる 10 個の文（付録 B.1）を提案手法により手元を視認せずに入力することとした。このタスクを，右手把持時の右手親指入力，両手把持時の右手親指入力，および左手把持時の右手人差し指入力の 3 条件において行い，入力された文字とその時刻を記録した。各条件においてタスクを 1 回ずつ行うことを 1 セッションとし，3 条件を異なる順序で計 3 セッションを行った。したがって，予備実験を通して 10 個の文 × 3 把持姿勢 × 3 セッション = 90 回の入力を行った。入力時には非視覚的フィードバックとして，指の位置する領域が変化する際に，スマートフォンの振動による触覚フィードバックが与えられた。

本研究では，入力速度および入力のエラー率を入力性能の指標とする。予備実験では，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，入力中に生じたエラーのうち修正されたエラーを含めて算出する Total Error Rate [SM04] を用いた。

結果として得られた入力速度およびエラー率の平均は、右手把持時の右手親指入力ではそれぞれ 35.3 CPM および 17.6%，両手把持時の右手親指入力では 37.7 CPM および 11.8%，左手把持時の右手人差し指入力では 40.6 CPM および 11.4% となった。長谷川らにより、手元を視認可能な条件下におけるフリック入力の入力速度はフリック入力経験者の少ない場合に平均 0.36 文字/秒，すなわち 21.6 CPM 程度であり，フリック入力常用者において平均 1.04 文字/秒，すなわち 62.4 CPM と報告されている [長谷 10] ため，初期の提案手法の入力速度はユーザが習熟すると経験の浅いフリック入力と比較して高速となる一方で，習熟したユーザのフリック入力よりも比較的遅いといえる。しかし，手元を視認しない条件下において操作に習熟した人が 40 CPM の速度にて入力可能であることは，手元を視認せずに 10 文字を 15 秒で入力可能であることを示している。したがって，初期の提案手法は短いメモ書きとしては十分な入力速度があると考えられる。実際，アイズフリーかな文字入力の先行研究である Move&Flick [AHM⁺14] は 40 CPM，No-look Flick [深津 12] は 33.9 CPM と，同等の入力速度を示している。

一方，エラー率は最も入力性能の高かった左手把持時の右手人差し指入力においても 11.4% であり，10 文字中に平均 1 文字以上のエラーが発生することから，短いメモ書きとしても十分に少ないエラー率であるとはいえない。記録を観察した結果，G ジェスチャや P ジェスチャなどの指の移動距離が長いジェスチャを含む文において，入力速度が落ち，かつ入力エラーが増加する傾向があったため，指の移動距離を短くする改良を行うべきであると考えた。

3.1.5 得られた改良案

初期の提案手法による文字入力を，第 26 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 (WISS2018) のデモンストレーション展示にて体験してもらった。デモ展示にて体験してもらった方々から，以下の改良案が得られた。

1. 中央領域外側の分割数を子音選択時と母音選択時で動的に変える設計もできる。
2. 上下左右の領域は等間隔ではなく，較正により決定することで，個人個人の親指の動きやすさに対応できる。
3. 母音選択の最後に折れ曲がる動作を追加することで濁音や半濁音，小書き文字の入力が高速化できる。
4. 子音ジェスチャが逆向きの軌跡になっていても同じ文字が入力できると良い。

このうち，分割を状態や較正により動的に変える設計は，手元を視認せずにどの領域に指が移動したかの判断に影響を与えると考えた。また，折れ曲がる動作はア段の選択時には適用できない。したがって，残る「逆向きの軌跡でも同じ文字が入力できる」ようにする改良案を取り入れることにした。

また，デモ展示にて体験してもらった方々から，以下の意見が得られた。

1. ジェスチャが円形に近いので、円形の表示領域を搭載するスマートウォッチ上の文字入力の方が親和性が高そう。
2. ジェスチャの設計よりも振動フィードバックに重要な効果があるのではないか。
3. ジェスチャを覚えるのが難しそう。
4. パターン以外の軌跡を描くとどうなるのか。入力のキャンセルはできないのか。

したがって、これらの意見を踏まえた改良を行う必要があると考えられる。一方、入力のキャンセルは、ユーザが入力した際に意図した文字が入力される、あるいは意図しない文字が入力されるという2状態のほかに、文字がキャンセルにより入力されないという状態が追加で生じるため、入力時に得られるフィードバックが乏しいアイズフリー条件下においてエラーの原因になると考えられる。ただし、初期の提案手法はパターン以外の軌跡を描くと何も入力されない仕様になっていた。この仕様は入力のキャンセルと実質的に同等であり、同様にエラーの原因になると考えられる。

3.2 改良後の提案手法

初期の提案手法に対する予備実験および得られた改良案ならびに意見を基に、設計および文字の入力手順の改良を行った。

3.2.1 設計の改良

フィードバックの有無が入力性能に影響を生じさせないようにするため、入力時には振動や音声によるフィードバックを与えないことにした。これにより、入力時に得られるフィードバックは指の触覚のみに制限される。したがって、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た。また、入力のキャンセル発生によるエラーを生じさせないため、指がタッチスクリーンから離れると必ず編集操作が生じるようにした。これらの改良を総合して、改良後の提案手法では、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、または確定）が生じるようにした。

また、子音ジェスチャと入力可能な文字列の編集操作を再編した。子音ジェスチャは図3.2に示すK, S, T, N, H, M, Y, およびRジェスチャのみとし、不足分は子音ジェスチャの組み合わせにより入力することにした。ここで、逆向きの軌跡でも同じ文字が入力できると良い、という改良案を踏まえ、K, T, M, およびRジェスチャは逆向きの軌跡でも同ジェスチャとして識別するようにした。再編後の入力可能な文字列の編集操作一覧を表3.2に示す。

表 3.2: 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-uia- a-iua-	か	き	く	け	こ
K-N	a-uia-ia- a-iua-ia-	が	ぎ	ぐ	げ	ご
S	a-ua-	さ	し	す	せ	そ
S-N	a-ua-ia-	ざ	じ	ず	ぜ	ぞ
T	a-uea- a-eua-	た	ち	つ	て	と
T-N	a-uea-ia- a-eua-ia-	だ	ぢ	づ	で	ど
T-N-N	a-uea-ia-ia- a-eua-ia-ia-	っ	っ	っ	っ	っ
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-	ぱ	ぴ	ぷ	ぺ	ぽ
M	a-oia- a-ioa-	ま	み	む	め	も
Y	a-oa-	や	い	ゆ	え	よ
Y-N	a-oa-ia-	や	い	ゆ	え	よ
R	a-oea- a-eoa-	ら	り	る	れ	ろ
M-Y	a-oea-oa- a-eoa-oa-	わ	を	ん	ー	ー
K-S	a-uia-ua- a-iua-ua-	あ	い	う	え	お
K-S-N	a-uia-ua-ia- a-iua-ua-ia-	あ	い	う	え	お
M-S	a-oia-ua- a-ioa-ua-	削除	確定	削除	確定	削除

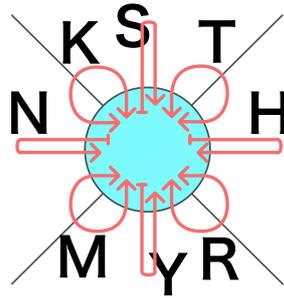


図 3.2: 改良後の子音ジェスチャー一覧.

3.2.2 文字の入力手順の改良

子音入力時に続けて他の子音を入力することにより、子音の再入力を可能にした。ただし、表 3.2 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ようにした。

また、母音入力時に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を行うことを可能にした。

3.2.3 入力の例

入力の例として図 3.3 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 3.3 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 ジェスチャー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 ジェスチャー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 3.3 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 ジェスチャー後に S ジェスチャーを行うことによりア行を再入力する。 b_3 にて、N ジェスチャー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 3.3 c_1 - c_8 に、「ぺっ」の入力手順を示す。 c_1 にて、H ジェスチャーによりハ行を入力し、 c_2 および c_3 にて、N ジェスチャーにより濁音、半濁音の入力に順に遷移する。そして、 c_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、「ぺ」を入力する。 c_5 にて、T ジェスチャーによりタ行を入力し、 c_6 および c_7 にて、N ジェスチャーにより濁音、小書き文字の入力に順に遷移する。そして、 c_8 にて、指を離すことにより「っ」を入力する。

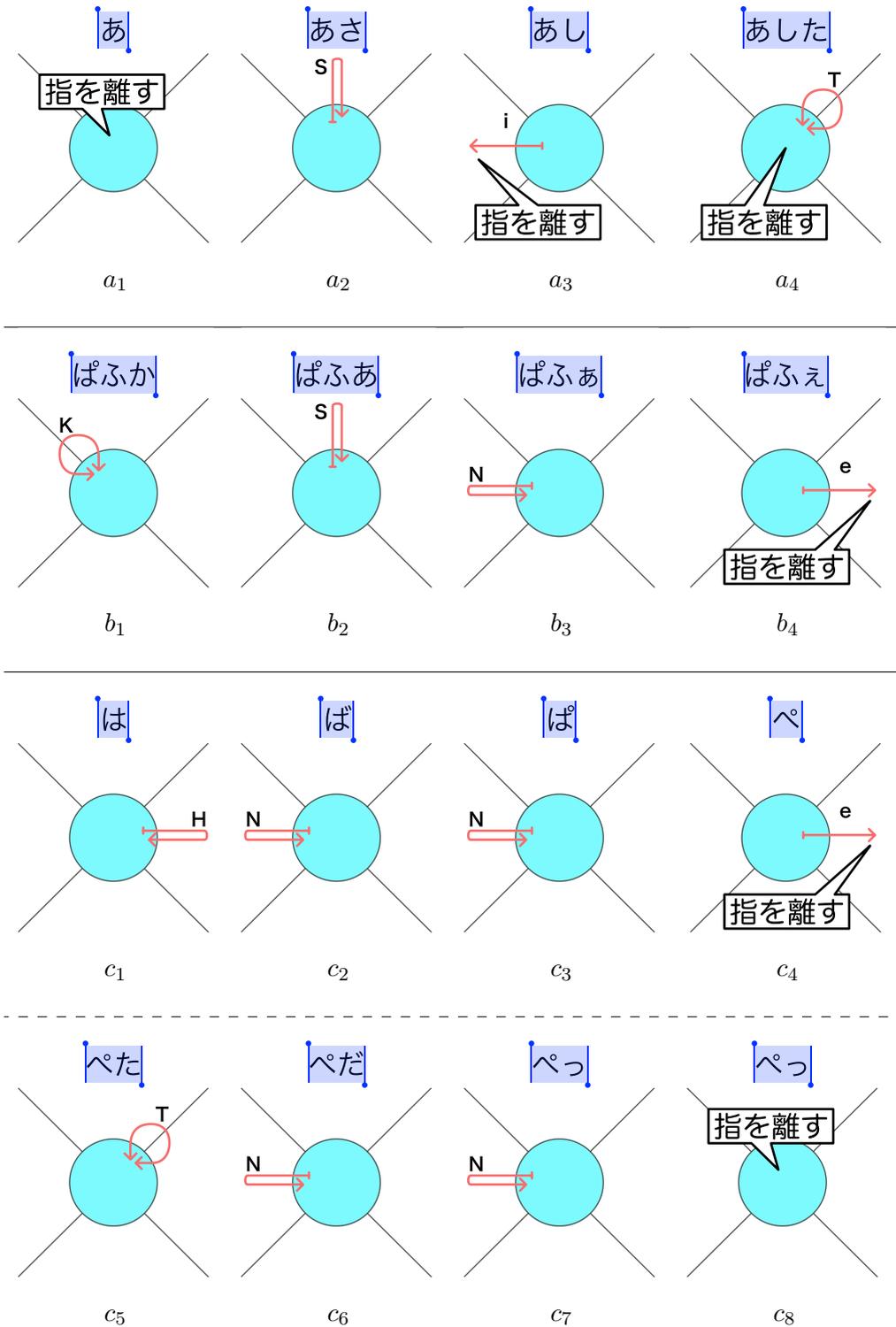


図 3.3: 改良後の提案手法による「あした」の入力例 (a_1 - a_4), 小書き文字「え」の入力例 (b_1 - b_4) および半濁音「ぺ」ならびに小書き文字「っ」の入力例 (c_1 - c_8).

第4章 プロトタイプシステムの実装

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。本章では、プロトタイプシステムの構成、デバイス固有の設定、およびジェスチャの識別方法を述べる。

4.1 プロトタイプシステムの構成

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 (GPS) 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にて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。

我々は実験的に図 3.1 の領域 a の半径を、スマートフォンへの実装では 10.0 mm, スマートウォッチへの実装では 3.7 mm とした。

4.2 デバイス固有の設定

スマートフォン独自の機能として、ベゼルスワイプ [RT09] による削除および確定操作を実装した。我々は実験的に、タッチスクリーンの左右両端からデバイスピクセルに換算して 96 ピクセル幅 (約 15.0 mm 幅) の領域をベゼルスワイプによる操作入力領域 (ベゼルジェスチャ領域) として定義した (図 4.1)。ユーザはタッチスクリーン左側のベゼルジェスチャ領域から右へのスワイプにより 1 文字を削除、タッチスクリーン右側のベゼルジェスチャ領域から左へのスワイプにより文字列入力を確定できる。残る領域 (文字入力領域) 上にて、提案手法による文字入力が可能である。

4.3 ジェスチャの識別方法

ジェスチャの識別のため、DP マッチング [NW70, 内田 06] による軌跡形状の識別器を実装した。まず、タッチの開始位置が領域を横断するごとに進入した領域を順列として記録する。円形領域から外側の領域を通り、円形領域に戻る一連のループを検出するたびに、そのルー

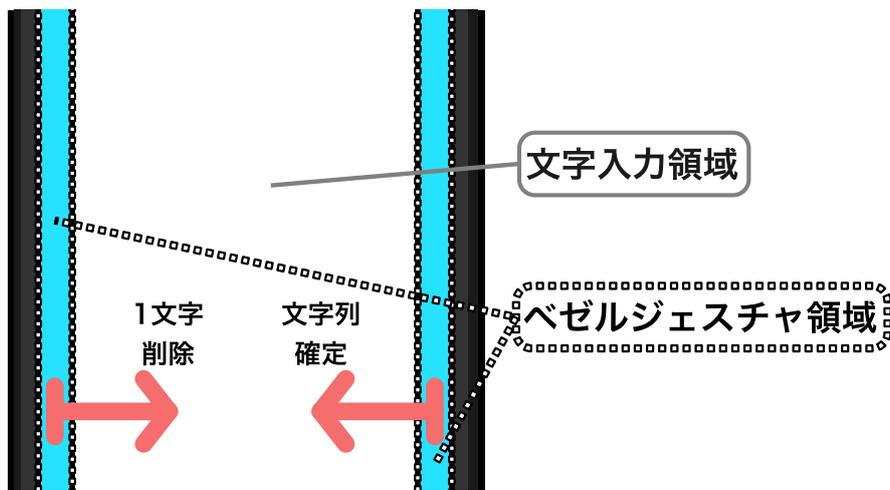


図 4.1: スマートフォンのタッチスクリーン上における入力領域.

ブ部分と、事前に定義された図 3.1 右に示す各子音ジェスチャに対応する通過領域の順列とを比較し、最も類似度の高い子音ジェスチャを入力として識別する.

第5章 評価実験

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。本章では、測定実験用のソフトウェアの構成を述べた後に、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、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、および測定後に実施した文の再現度調査を述べる。

5.1 測定実験用のソフトウェアの構成

評価実験に先立ち、プロトタイプシステム上にて動作する測定実験用のソフトウェアを作成した。スマートフォン上にて動作するソフトウェアは、入力部、識別部、測定部、記録部、および通信部からなる。一方、スマートウォッチ上にて動作するソフトウェアは、入力部、識別部、および通信部からなる。入力部は、タッチ操作を認識し、指が通過する領域を順列として保持する。識別部は、パターンマッチングにより、入力部が保持する領域の順列に対する子音および母音を識別し、識別結果から文字入力のイベントおよび文字列編集操作のイベントを発生させる。測定部は、モニタに文あるいは測定結果を提示し、識別部が発生させるイベントを受け取り、入力性能を測定する。記録部は、タッチ操作および文字入力性能をスマートフォン上のファイルに記録する。通信部は、測定部および記録部をデバイス間で共通化するため、スマートウォッチ上の識別部が発生させるイベントをスマートフォン上の測定部へ送信する。

なお、評価実験ではスマートフォン上における入力とスマートウォッチ上における入力を比較するため、スマートフォン独自の機能であるベゼルスワイプによる削除および確定動作を無効化した。

5.2 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。

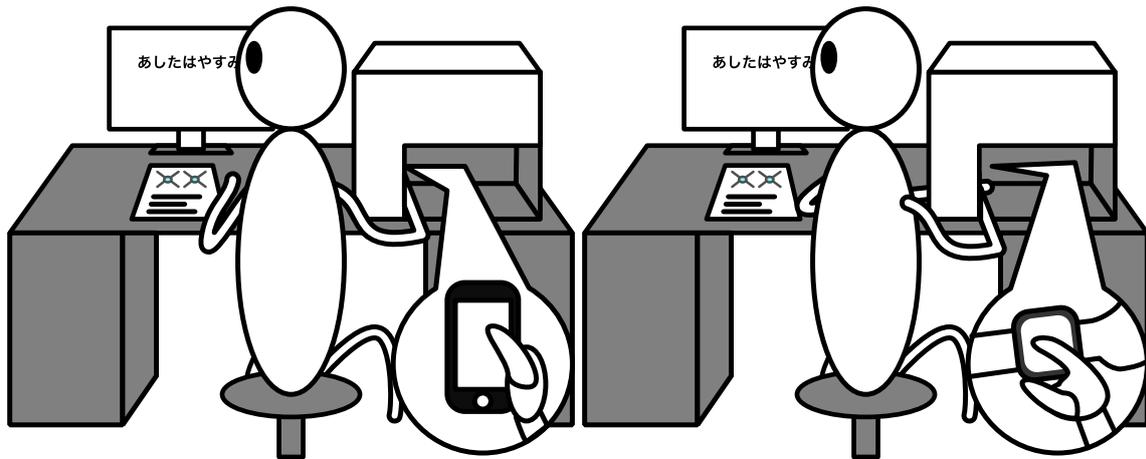


図 5.1: スマートフォン上（左）およびスマートウォッチ上（右）における測定実験の概観。

5.2.1 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、年齢 22 歳）であり、1 人が左利きであった。参加者全員が、4 年以上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（付録 A.4）に記入した。記入後に、参加者は説明資料（付録 A.1）と説明函（付録 A.3）を受け取り、提案手法による文字入力について説明を受けた。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、スマートフォン上およびスマートウォッチ上における入力性能の測定が終了した直後に、System Usability Scale (SUS) [Bro96] を用いたアンケート（付録 A.5 および A.6）にそれぞれ記入した。さらに、参加者は双方のデバイス上における入力性能の測定後に、提案手法に対する主観評価に関するアンケート（付録 A.7）に記入した。

実験の概観を図 5.1 に、入力時の様子を図 5.2 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 [KST16] ように指示された。



図 5.2: スマートフォン上 (左) およびスマートウォッチ上 (右) における入力時の様子.

5.2.2 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にて提示された文を入力するように指示された。入力中、参加者は自身が入力している文を見ることができ、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（付録B.2）。このうち24個は、深津ら [深津 12] 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。2つの分布の類似度が高いほど0に近づく Kullback-Leibler 情報量 [KL51] および L^2 距離 [SKS+13] を、標準小学国語辞典中のかな文字の統計 [片桐 68] に示される分布と40個の短文中のかな文字の分布間にて算出したところ、Kullback-Leibler 情報量は0.10333、 L^2 距離は0.00140であった。

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。

5.2.3 結果

各デバイス上における入力性能の測定間の休憩を除き、参加者1人あたり1時間から1時間半を実験に要した。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。CPMの計算は、入力された文字数からはじめ1文字を引いた文字数を、最初の文字が入力された直後の時刻から最後に文字が入力された直後の時刻までの時間により割って算出した。また、エラー率の指標として、Soukoreff らの Minimum String Distance Error Rate [SM01, MS02, SM03] 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5.3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。シャピロ・ウィルク検定の結果、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、デバイス間に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 $p = 1.621 \times 10^{-4}$ および $p = 2.629 \times 10^{-9}$ ）。

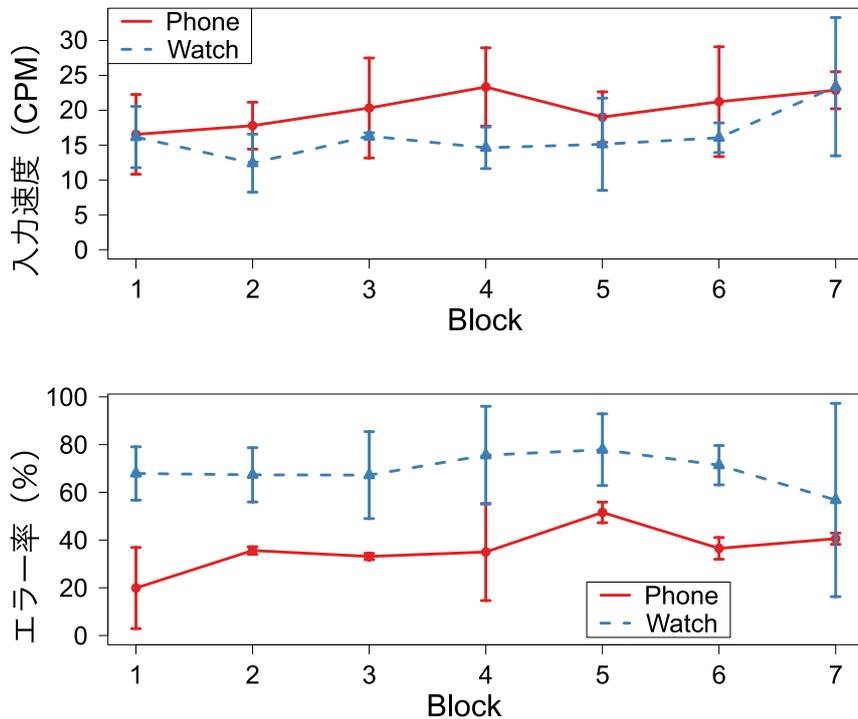


図 5.3: ジェスチャのみによる入力性能測定で得られた結果に対する、各ブロックの入力速度（上）およびエラー率（下）。エラーバーは各ブロックにおける参加者毎の平均間の標準偏差を示す。

したがって、入力速度およびエラー率の双方に関して、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。

ケンドールの順位相関係数による無相関検定により、スマートフォン上における入力性能に関して、ブロックと入力速度との間に有意な順位相関は示されなかった ($\tau = 0.160, p = 0.0649$)。しかし、ブロックとエラー率との間に有意な正の順位相関が示された ($\tau = 0.195, p = 0.0277$)。一方、スマートウォッチ上における入力性能に関して、ブロックと入力速度との間およびブロックとエラー率との間に有意な順位相関は示されなかった（それぞれ $\tau = 0.161, p = 0.063$ および $\tau = 0.018, p = 0.841$ ）。したがって、提案手法による入力では、習熟による入力性能の向上は見られなかった。また、スマートフォン上における入力では疲労あるいは集中力の低下により緩やかにエラーが増加したと考えられる。

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 [BKM08] 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，提案手法に対して，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．

5.3 実験 2：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の測定を行った．

5.3.1 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の学生 2 人（全員が男性，年齢 22 歳）であり，全員が右利きであった．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．実験時に配布した説明資料および説明図を付録 A.2 および付録 A.3 に示す．また，配布したアンケートを付録 A.4，A.5，A.6，および A.7 に示す．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 5.4）．ボタンは 3D プリント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．

5.3.2 結果

各デバイス上における入力性能の測定間の休憩を除き，参加者 1 人あたりおよそ 40 分を実験に要した．我々は実験 1 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 5.5 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

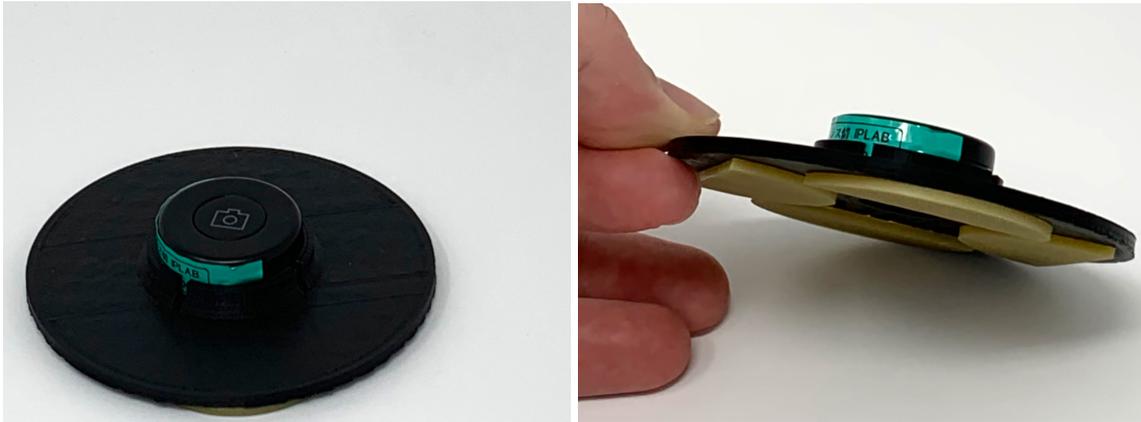


図 5.4: 5.3 節の実験に用いたボタンおよび台座（左：上面，右：底面）。

有意水準を 5% とする。

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。シャピロ・ウィルク検定の結果，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，ボタンを併用する場合にも同様に見られる。

ケンドールの順位相関係数による無相関検定により，スマートフォン上における入力性能に関して，ブロックと入力速度との間およびブロックとエラー率との間に有意な順位相関は示されなかった（それぞれ $\tau = 0.072, p = 0.4062$ および $\tau = 0.014, p = 0.8835$ ）。また，スマートウォッチ上における入力性能に関して，ブロックと入力速度との間およびブロックとエラー率との間に有意な順位相関は示されなかった（それぞれ $\tau = 0.035, p = 0.6892$ および $\tau = 0.008, p = 0.9297$ ）。したがって，本実験では繰り返し入力を行っても習熟による入力性能の向上が見られないことがわかった。

次に，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相関検定を行った。結果として，スマートフォン上における入力速度およびエラー率に関して，確定ジェスチャのみを用いたときとボタンを併用したときとの間に有意な差が示された（ $p = 1.037 \times 10^{-5}$ および $p = 3.579 \times 10^{-7}$ ）。また，スマートウォッチ上における入力速度およびエラー率に関して，確定ジェスチャのみを用いたときとボタンを併用したときとの間に有意な差が示された（ $p = 6.010 \times 10^{-6}$ および $p = 5.576 \times 10^{-13}$ ）。したがって，提案手法に対して，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

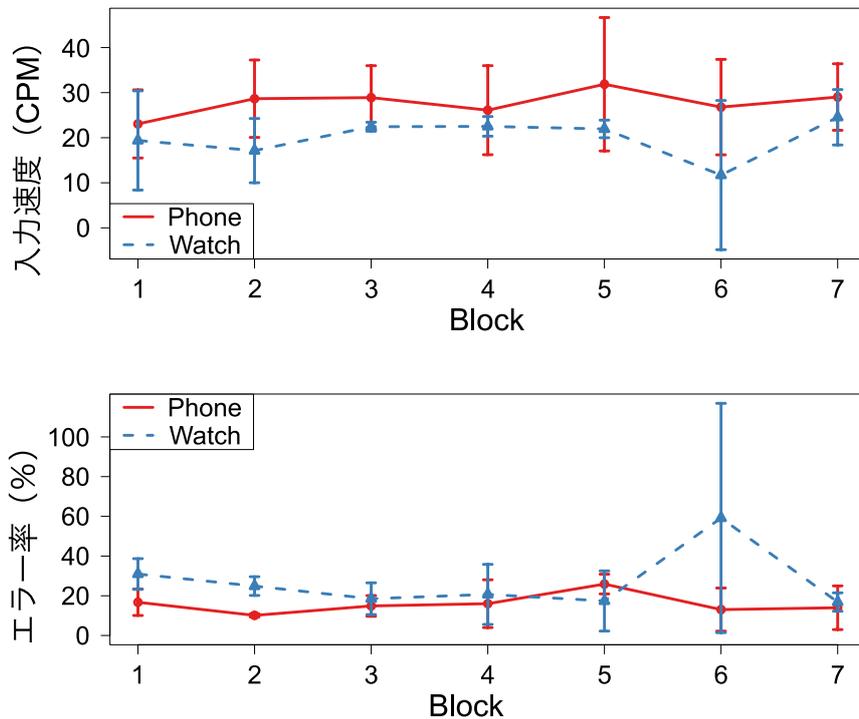


図 5.5: ボタンを併用する入力性能測定で得られた結果に対する、各ブロックの入力速度（上）およびエラー率（下）。エラーバーは各ブロックにおける参加者毎の平均間の標準偏差を示す。

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され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。

他にも、測定後の記述回答にて、フィードバックがないため子音や母音として何を入力し

表 5.1: 再現度調査に用いたスプレッドシートとそれに対する回答の例.

No.	入力された文	元の提示文
0	えも	いも
1	しぢこかもみ	?
2	とえいみえむ	?
3	かいぎういまいゆだ	?
4	ごごきゆうこう	ごごきゆうこう
5	せゆたくものほす	せんたくものほす
6	しきにびふ	?
⋮	⋮	⋮
159	ますうしきかす	すうしきかする

たかわからない, という回答が得られた. 何を入力したかというフィードバックのみならず, 入力为正しかったかを測定後に確認するフィードバックすら与えられない条件下において実験を行ったことが, 繰り返し入力を行っても習熟による入力性能の向上が見られない原因となった可能性がある.

5.4 実験 3 : 文の再現度調査

実験 3 では, 提案手法による文字入力のユースケースとして考えられるメモを取る用途に対する提案手法の性能を明らかにするため, Fukatsu ら [FST13] の実験を参考として, 実験参加者が測定実験にて入力した文からどの程度提示された文を再現できるかを調査した.

5.4.1 実験の設計, 手順およびタスク

実験参加者は, 実験 1 および実験 2 の参加者である. 各実験の 48 時間以上後に再現度調査が実施された.

再現度調査は, オンラインのスプレッドシートを用いて行われた (表 5.1). スプレッドシートには 161 行 3 列の表が記入され, 先頭 1 行はヘッダとして用いられた. ヘッダを除き上から順に, 左の列には 0 から 159 までの番号が, 中央の列には参加者が参加した実験 1 または実験 2 にて入力された文があらかじめ記入された. 右の列は空欄であり, 参加者は中央の列に記入された文をもとに提示された文を推測して空欄に記入することを求められた. 元の提示文が推測できない場合には, 文の代替としてクエスチョンマークを記入するよう求められた. 推測および記入にはいかなる制限も設けられず, 実験参加者は入力が終了したときにそれを実験者に報告した. 各参加者は, 自身がスマートフォン上において入力した 40 個の文およびスマートウォッチ上において入力した 40 個の文, ならびに他者がスマートフォン上にお

いて入力した 40 個の文およびスマートウォッチ上において入力した 40 個の文からなる計 160 個の提示された文の再現を求められた。

実験 1 にて入力された文は確定ジェスチャ誤入力のエラーが多く発生したため、入力された文の末尾に余分な文字列が追加された文が多く入力された。例えば提示された文が「ぶりんとくぼる」であり、それに対して入力された文が「ぶりんとくぼるけけけけけねけけけけけけけ」であった。したがって、確定ジェスチャ誤入力の影響を緩和するか否かで文の再現度に差が生じるかを調べることにした。実験 1 の参加者には、各参加者が各デバイス上において入力した 40 個の文のうち、ランダムに選択された 20 個が入力した文そのままに記載され、残る 20 個は確定ジェスチャ誤入力のエラーを軽減するために提示文よりも長い文を提示文と同じ長さを先頭から切り出す加工を施した文が記載された。

一方、実験 2 にて入力された文にはボタンを確定に用いたため、確定ジェスチャ誤入力のエラーは発生しなかったと考えられる。したがって実験 2 の参加者には、自身および他者が入力した 40 個の文すべてが入力した文そのままに記載された。

5.4.2 結果

実験 1 の参加者が実験 1 で入力した文を再現したとき、入力した文そのままのものに対しては平均 35.0% ($SD = 0.478$) の再現率であり、入力した文の長さを提示文の長さ以内に加工したのものに対しても平均 37.5% ($SD = 0.486$) の再現率だった (図 5.6)。ウィルコクソンの順位和検定により、加工前後の間に有意な差は示されなかった ($W = 12480, p = 0.6423 < 0.05$)。したがって、確定ジェスチャ誤入力の影響を緩和するか否かで文の再現度に有意な差は生じないことがわかった。これは、「け」や「ね」など特定の文字が確定ジェスチャのエラーとして入力されたことにより、入力された文中の確定ジェスチャのエラーを認識しやすかったためと考えられる。

実験 1 の参加者が自身で入力した文を再現したとき、平均 31.9% ($SD = 0.467$) の再現率であり、他者が入力した文を再現したとき、平均 40.6% ($SD = 0.493$) の再現率だった (図 5.7)。ウィルコクソンの順位和検定により、自身の入力した文と他者の入力した文との再現率の間に有意な差は示されなかった ($W = 11680, p = 0.1041 > 0.05$)。

一方、実験 1 の参加者がスマートフォン上において入力した文を再現したとき、平均 57.5% ($SD = 0.496$) の再現率であり、スマートウォッチ上において入力した文を再現したとき、平均 15.0% ($SD = 0.358$) の再現率だった (図 5.8)。ウィルコクソンの順位和検定により、スマートフォン上において入力した文とスマートウォッチ上において入力した文との再現率の間に有意な差が示された ($W = 18240, p = 2.887 \times 10^{-15} < 0.05$)。

次に、実験 2 の参加者が実験 2 で入力した文を再現したとき、平均 75.9% ($SD = 0.428$) の再現率だった。

実験 2 の参加者が自身で入力した文を再現したとき、平均 78.8% ($SD = 0.410$) の再現率であり、他者が入力した文を再現したとき、平均 73.1% ($SD = 0.445$) の再現率だった (図 5.9)。ウィルコクソンの順位和検定により、自身の入力した文と他者の入力した文との再現率の間に有意な差は示されなかった ($W = 13520, p = 0.2399 > 0.05$)。

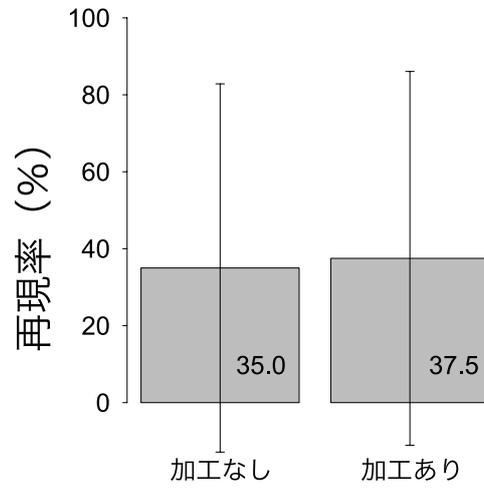


図 5.6: 実験 1 の参加者の実験 1 で入力した文の加工の有無毎の再現率。加工前後の間に有意な差は示されなかった。

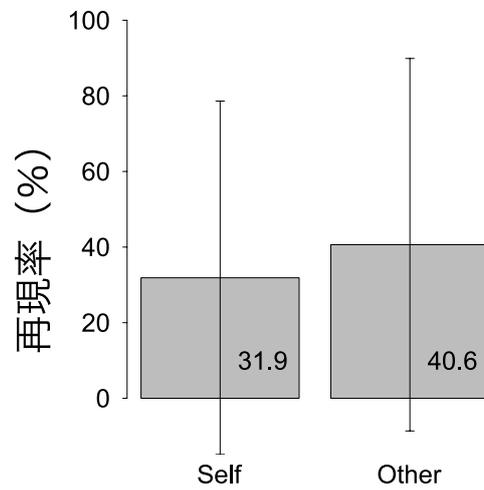


図 5.7: 実験 1 の参加者の実験 1 で入力した文の入力者毎の再現率。Self は自身の入力した文の、Other は他者の入力した文の再現率を示す。入力者間に有意な差は示されなかった。

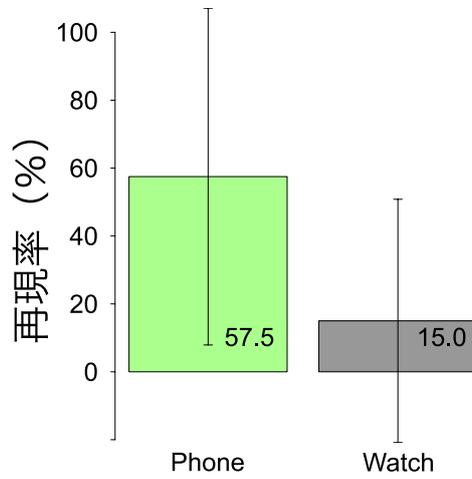


図 5.8: 実験 1 の参加者の実験 1 で入力した文のデバイス毎の再現率。Phone はスマートフォン上にて入力された文の、Watch はスマートウォッチ上にて入力された文の再現率を示す。デバイス間に有意な差が示された。

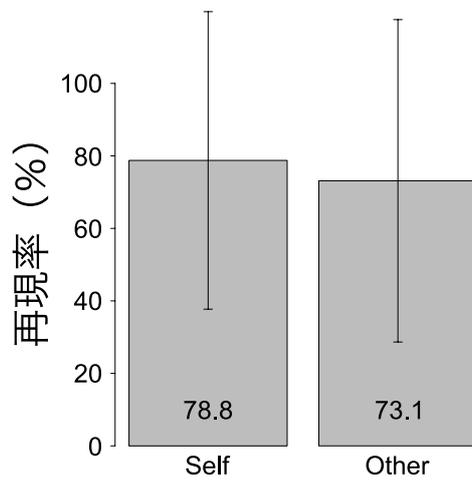


図 5.9: 実験 2 の参加者の実験 2 で入力した文の入力者毎の再現率。Self は自身の入力した文の、Other は他者の入力した文の再現率を示す。入力者間に有意な差は示されなかった。

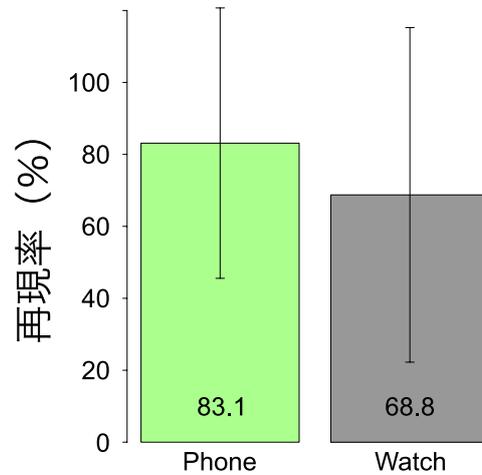


図 5.10: 実験 2 の参加者の実験 2 で入力した文のデバイス毎の再現率. Phone はスマートフォン上にて入力された文の, Watch はスマートウォッチ上にて入力された文の再現率を示す. デバイス間に有意な差が示された.

実験 2 の参加者がスマートフォン上において入力した文を再現したとき, 平均 83.1% ($SD = 0.376$) の再現率であり, スマートウォッチ上において入力した文を再現したとき, 平均 68.8% ($SD = 0.465$) の再現率だった (図 5.10). ウィルコクソンの順位和検定により, スマートフォン上において入力した文とスマートウォッチ上において入力した文との再現率の間に有意な差が示された ($W = 14640, p = 2.672 \times 10^{-3} < 0.05$).

実験 1 および実験 2 の再現度調査で自身の入力した文と他人の入力した文の再現に有意な差が示されなかったことから, 自身が入力した文か否かは再現率に影響を与えないことがわかった. また, 実験 1 および実験 2 の再現度調査で自身の入力した文と他人の入力した文の再現に有意な差が示されたことから, スマートフォン上におけるメモを取る用途に対する提案手法の性能はスマートウォッチと比較して高いことがわかった.

第6章 議論

本章では，実験結果に対する考察および本研究の今後の展望を述べる．

6.1 実験結果に対する考察

実験1および2の結果より，確定の方法によらず，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の無相関検定の結果から，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．フィードバックがないため子音や母音として何を入力したかわからない，という記述回答の他にも，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ブロック間の休憩時に報告した．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．

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 [FST13] 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た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．

実験3の結果より，実験2にてスマートフォン上において入力した文の再現率は 83.1%となり，これはおよそ6個の文の入力のうち1個の文のみが再現できないことに相当する．Fukatsu らの先行研究 [FST13] にて報告された文の再現率は 94.3%であり，単純な数値比較では提案手法は劣っている．ただし，Fukatsu らの先行研究においては再現率の調査時に文の入力中に削除された文字をグレーで実験参加者に示しているため，実際にメモを読み返して再現する

ユースケースにて想定される条件とは異なる。本研究で実施した実験3では実際にメモを読み返して再現するユースケースにて想定される条件を考慮し、最終的に入力された文のみを実験参加者に提示して再現率を調査した。しかし、本研究ではあらかじめ用意された40個の文の再現率を調査したものの、実際にメモを読み返して再現するユースケースでは入力される文はユーザが生成するため、本研究の調査結果とは再現率が異なる可能性がある。したがって、ユーザが自身で生成した文を提案手法により入力した後に記憶に頼らず再現できるかを検証する余地が残されている。

6.2 今後の展望

本研究の今後の展望として、スリープ時のメモ取り機能と物体の表面上における文字入力を述べる。

6.2.1 スリープ時のメモ取り機能

本研究にて示した文字入力手法の応用として、モバイル端末のスリープ時のメモ取り機能を考えている。モバイル端末のスリープ時にタッチスクリーン上にて提案手法の一筆書きの軌跡を描くと、いつ入力されたかを示すタイムスタンプとともに軌跡に対応する文字を記録する。スリープ解除時に、記録された文字のうちタイムスタンプの値が近いものごとにグループ分けを行い、連続して入力した文字列のメモとして記録する。この機能の実現により、モバイル端末をスリープ解除して視認しながらアプリケーションを起動する必要なしに、いつでも即時に手元やポケットの中にあるモバイル端末上でメモをとることが可能になる。さらに、タイムスタンプによるグループ分けにより切り出した文字列に対して単語を推定することにより、メモ取りの入力精度を高められると考える。

6.2.2 物体の表面上における文字入力

本研究にて示した文字入力手法は、一筆書きの軌跡を検出できる限り、あらゆる表面上にて利用可能である。したがって、物体の表面上における文字入力という応用が考えられる。例えば、布地のタッチセンシング技術 [HIWB14, OIO⁺17] を用いてズボンの布地に対するタッチ位置を検出することにより、モバイル端末を取り出さずに膝の上に手をおいて座ったまま、太ももの上を指でなぞってメモ取りやメッセージ入力を行うことができる。また、手や腕の表面上への指のタッチ位置を検出する [MCT⁺13, ZZLH16] ことにより、スクリーンを指で覆い隠さずにスマートウォッチ上におけるメッセージや予定の入力を行うことができる。

第7章 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か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、今後は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を行う。

謝辞

本研究を進めるにあたり，志築文太郎先生，高橋伸先生には多くのご意見とご指導を頂きました。特に志築文太郎先生には，研究の進め方を基礎からご指導いただいたのみならず，研究の相談や論文執筆に関して多くのご助言を頂きました。深く感謝いたします。

インタラクティブプログラミング研究室の同輩，先輩方には研究活動において様々なご助言を頂きました。また，WAVE チームの皆様にはチームゼミにおいて的確なご意見を多く頂きました。これらのご意見が研究を進める上で頼れる道標となりました。大変感謝しております。特に，中村拓人氏には研究方針や論文執筆など本研究に対して多くの重要なご助言を頂いたのみならず，共著者として数えきれないほどのご協力を頂きました。心よりお礼申し上げます。また，実験に参加していただいた皆様には，長時間の実験にご協力頂きましたことを大変感謝しております。

最後に，筆者を育て，様々な面において研究生生活を支えてくださった家族，そして研究生活においてお世話になった全ての方々に心より感謝いたします。

参考文献

- [AHM⁺14] Ryosuke Aoki, Ryo Hashimoto, Akihiro Miyata, Shunichi Seko, Masahiro Watanabe, and Masayuki Ihara. Move&Flick: Design and Evaluation of a Single-Finger and Eyes-Free Kana-Character Entry Method on Touch Screens. In *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*, pp. 311–312. ACM, 2014.
- [App] Apple Inc. Siri - Apple. <https://www.apple.com/siri/>. Accessed: 2019-01-08.
- [Aze14] Shiri Azenkot. *Eyes-Free Input on Mobile Devices*. Dissertation, University of Washington, 2014.
- [BKM08] Aaron Bangor, Philip Kortum, and James Miller. An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 24, No. 6, pp. 574–594, 2008.
- [Bro96] John Brooke. SUS : A Quick and Dirty Usability Scale. *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189–194, 1996.
- [CK14] Hyeonjoong Cho and Chulwon Kim. BubStack: A Self-Revealing Chorded Keyboard on Touch Screens to Type for Remote Wall Displays. In *Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference, AH '14*, pp. 23:1–23:2, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [FST13] Yoshitomo Fukatsu, Buntarou Shizuki, and Jiro 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*, pp. 161–170. ACM, 2013.
- [GCR14] Jérémie Gilliot, Géry Casiez, and Nicolas Roussel. Impact of Form Factors and Input Conditions on Absolute Indirect-Touch Pointing Tasks. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14*, pp. 723–732, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [Goo] Google LLC. Google Assistant — Your own personal Google. https://assistant.google.com/intl/en_uk/. Accessed: 2019-01-08.

- [GOZ16] Mitchell Gordon, Tom Ouyang, and Shumin Zhai. WatchWriter: Tap and Gesture Typing on a Smartwatch Miniature Keyboard with Statistical Decoding. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, pp. 3817–3821, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [GR93] David Goldberg and Cate Richardson. Touch-Typing with a Stylus. In *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '93, pp. 80–87, New York, NY, USA, 1993. ACM.
- [GW00] François Guimbreti re and Terry Winograd. FlowMenu: Combining Command, Text, and Data Entry. In *Proceedings of the 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '00, pp. 213–216, New York, NY, USA, 2000. ACM.
- [GXG⁺18] Jun Gong, Zheer Xu, Qifan Guo, Teddy Seyed, Xiang ‘Anthony’ Chen, Xiaojun Bi, and Xing-Dong Yang. WrisText: One-Handed Text Entry on Smartwatch Using Wrist Gestures. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, pp. 181:1–181:14, New York, NY, USA, 2018. ACM.
- [HHIL15] Jonggi Hong, Seongkook Heo, Poika Isokoski, and Geehyuk Lee. SplitBoard: A Simple Split Soft Keyboard for Wristwatch-Sized Touch Screens. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 1233–1236, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [HIWB14] Florian Heller, Stefan Ivanov, Chat Wacharamanotham, and Jan Borchers. FabriTouch: Exploring Flexible Touch Input on Textiles. In *Proceedings of the 2014 ACM International Symposium on Wearable Computers*, ISWC '14, pp. 59–62, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [IHS18] Akira Ishii, Hiroyuki Hakoda, and Buntarou Shizuki. Flickey: Flick-Based QWERTY Software Keyboard for Ultra-Small Touch Screen Devices. In *Human-Computer Interaction. Interaction Technologies*, pp. 31–42, Cham, 2018. Springer International Publishing.
- [KL51] Solomon Kullback and Richard A. Leibler. On Information and Sufficiency. *The Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 22, No. 1, pp. 79–86, 1951.
- [Kri07] Per Ola Kristensson. *Discrete and Continuous Shape Writing for Text Entry and Control*. Dissertation, Linköping University, 2007.
- [KS17] Yuki Kuno and Buntarou Shizuki. Meyboard: A QWERTY-Based Soft Keyboard for Touch-Typing on Tablets. In *Human-Computer Interaction. Interaction Contexts*, pp. 193–207, Cham, 2017. Springer International Publishing.

- [KST16] Yuki Kubo, Buntarou Shizuki, and Jiro 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*, CHI '16, pp. 3852–3856, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [KZ04] Per Ola Kristensson and Shumin Zhai. SHARK²: A Large Vocabulary Shorthand Writing System for Pen-Based Computers. In *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '04, pp. 43–52, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [MCT⁺13] Adiyana Mujibiya, Xiang Cao, Desney S. Tan, Dan Morris, Shwetak N. Patel, and Jun Rekimoto. The Sound of Touch: On-Body Touch and Gesture Sensing Based on Transdermal Ultrasound Propagation. In *Proceedings of the 2013 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, ITS '13, pp. 189–198, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [MS02] I. Scott MacKenzie and R. William Soukoreff. A Character-Level Error Analysis Technique for Evaluating Text Entry Methods. In *Proceedings of the Second Nordic Conference on Human-computer Interaction*, NordiCHI '02, pp. 243–246, New York, NY, USA, 2002. ACM.
- [MZ97] I. Scott MacKenzie and Shawn X. Zhang. The Immediate Usability of Graffiti. In *Proceedings of the Conference on Graphics Interface '97*, pp. 129–137, Toronto, Ont., Canada, Canada, 1997. Canadian Information Processing Society.
- [NW70] Saul B. Needleman and Christian D. Wunsch. A General Method Applicable to the Search for Similarities in the Amino Acid Sequence of Two Proteins. *Journal of Molecular Biology*, Vol. 48, No. 3, pp. 443–453, 1970.
- [OIO⁺17] Keisuke Ono, Shinichiro Iwamura, Akira Ogie, Tetsuaki Baba, and Paul Haimes. Textile++: Low Cost Textile Interface Using the Principle of Resistive Touch Sensing. In *ACM SIGGRAPH 2017 Studio*, SIGGRAPH '17, pp. 8:1–8:2, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [Per98] Ken Perlin. Quikwriting: Continuous Stylus-Based Text Entry. In *Proceedings of the 11th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '98, pp. 215–216, New York, NY, USA, 1998. ACM.
- [RT09] Volker Roth and Thea Turner. Bezel Swipe: Conflict-Free Scrolling and Multiple Selection on Mobile Touch Screen Devices. In *Proceedings of the 27th Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '09, pp. 1523–1526, New York, NY, USA, 2009. ACM.

- [SAK⁺16] Tomoki Shibata, Daniel Afergan, Danielle Kong, Beste F. Yuksel, I. Scott MacKenzie, and Robert J.K. Jacob. DriftBoard: A Panning-Based Text Entry Technique for Ultra-Small Touchscreens. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16, pp. 575–582, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [SCOP⁺16] Yuan-Fu Shao, Masatoshi Chang-Ogimoto, Reinhard Pointner, Yu-Chih Lin, Chen-Ting Wu, and Mike Chen. SwipeKey: A Swipe-Based Keyboard Design for Smartwatches. In *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '16, pp. 60–71, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [SHB11] T. Scott Saponas, Chris Harrison, and Hrvoje Benko. PocketTouch: Through-Fabric Capacitive Touch Input. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '11, pp. 303–308, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [SKS⁺13] Masashi Sugiyama, Takafumi Kanamori, Taiji Suzuki, Marthinus Christoffel du Plessis, Song Liu, and Ichiro Takeuchi. Density-Difference Estimation. *Neural Computation*, Vol. 25, No. 10, pp. 2734–2775, 2013. PMID: 23777524.
- [SM01] R. William Soukoreff and I. Scott MacKenzie. Measuring Errors in Text Entry Tasks: An Application of the Levenshtein String Distance Statistic. In *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '01, pp. 319–320, New York, NY, USA, 2001. ACM.
- [SM03] R. William Soukoreff and I. Scott MacKenzie. Metrics for Text Entry Research: An Evaluation of MSD and KSPC, and a New Unified Error Metric. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, pp. 113–120, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [SM04] R. William Soukoreff and I. Scott MacKenzie. Recent Developments in Text-Entry Error Rate Measurement. In *CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '03, pp. 1425–1428, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [SRC05] Katie A. Siek, Yvonne Rogers, and Kay H. Connelly. Fat Finger Worries: How Older and Younger Users Physically Interact with PDAs. In *Proceedings of the 9th IFIP TC 13 International Conference on Human-computer Interaction*, INTERACT '05, pp. 267–280, Berlin, Heidelberg, 2005. Springer-Verlag.
- [TKY18] Takaki Tojo, Tsuneo Kato, and Seiichi 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, New York, NY, USA, 2018. ACM.

- [TM08] Hussain Tinwala and I. Scott MacKenzie. Letterscroll: Text Entry Using a Wheel for Visually Impaired Users. In *CHI '08 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '08, pp. 3153–3158, New York, NY, USA, 2008. ACM.
- [TM10] Hussain Tinwala and I. Scott MacKenzie. Eyes-Free Text Entry with Error Correction on Touchscreen Mobile Devices. In *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*, NordiCHI '10, pp. 511–520, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [WYLS13] Yuntao Wang, Chun Yu, Jie Liu, and Yuanchun Shi. Understanding Performance of Eyes-Free, Absolute Position Control on Touchable Mobile Phones. In *Proceedings of the 15th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '13, pp. 79–88, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [WZF18] Pui Chung Wong, Kening Zhu, and Hongbo Fu. FingerT9: Leveraging Thumb-To-Finger Interaction for Same-Side-Hand Text Entry on Smartwatches. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, pp. 178:1–178:10, New York, NY, USA, 2018. ACM.
- [YYX⁺17] Xin Yi, Chun Yu, Weijie Xu, Xiaojun Bi, and Yuanchun Shi. COMPASS: Rotational Keyboard on Non-Touch Smartwatches. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, pp. 705–715, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [ZK03] Shumin Zhai and Per Ola Kristensson. Shorthand Writing on Stylus Keyboard. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '03, pp. 97–104, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [ZZLH16] Yang Zhang, Junhan Zhou, Gierad Laput, and Chris Harrison. SkinTrack: Using the Body as an Electrical Waveguide for Continuous Finger Tracking on the Skin. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, pp. 1491–1503, New York, NY, USA, 2016. ACM.
- [井川 13] 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. *インタラクション* 2013, pp. 651–656. 情報処理学会, 2013.
- [佐藤 06] 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.
- [植野 16] 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. *インタラクション* 2016, pp. 473–477. 情報処理学会, 2016.

- [深津 12] 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, pp. 133–138. 日本ソフトウェア科学会, 2012.
- [長谷 10] 長谷川旭, 長谷川聡, 宮尾克. タッチパネル搭載ケータイにおける入力方式の評価. シンポジウムモバイル研究論文集, pp. 73–76. モバイル学会, 2010.
- [東條 18] 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, pp. 1048–1053. 情報処理学会, 2018.
- [内田 06] 内田誠一. DP マッチング概説: 基本と様々な拡張. 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol. 106, No. 428, pp. 31–36, 2006.
- [片桐 68] 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.

著者論文リスト

参考論文

本論文の主な内容は、下記にて公表済みである。

- 公表済み論文
 1. 漆山裕太, 中村拓人, 志築文太郎. 指の軌跡に基づく手元の視認が不要なスマートフォン向けかな文字入力手法. 第26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, WISS2018, 日本ソフトウェア科学会, 2018年9月, 2 pages.
 2. 漆山裕太, 中村拓人, 志築文太郎. 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提案. 情報処理学会研究報告, Vol.2018-HCI-181, 情報処理学会, 2018年1月, 8 pages.

付録A 実験の際に用いた各種書類

次ページ以降は、第5章において示した評価実験の際に実験参加者に配られた説明資料およびアンケートである。

実験1の開始時に、45、46ページに示す説明資料および49ページに示す説明図を配布し、資料に沿って説明を行った。また、測定時には適宜49ページの説明図を確認してよいこととした。

実験2の開始時に、47、48ページに示す説明資料および49ページに示す説明図を配布し、資料に沿って説明を行った。また、測定時には適宜49ページの説明図を確認してよいこととした。

また、実験1および実験2では、測定前、各デバイス上における測定終了後、および双方の測定終了後に、50-54ページに示すアンケートにそれぞれ回答してもらった。

A.1 実験1にて配布された説明資料

実験についての説明

文責：漆山裕太

<はじめに>

本日は、実験にご協力いただき、誠にありがとうございます。本実験は、スマートフォンおよびスマートウォッチにおいて、アイズフリーかつ片手指一本の操作によるかな文字入力を行うためのシステムを使用し、文字入力性能と使用感を検証するための実験です。

<システムの操作説明>

別紙に、本文字入力システムによる文字入力方法の説明図を印刷しています。本システムでは、一筆書きのジェスチャによってかな文字の入力を行います。本システムで用いる一筆書きのジェスチャには、画面に指を触れたままタッチした位置に戻ってくるジェスチャ（子音ジェスチャ）と、指を最後に画面から離すジェスチャ（母音ジェスチャ）があります。画面にタッチした後に、子音ジェスチャを何回か入力した後、母音ジェスチャを行うことにより、子音と母音に対応する1文字が入力されます。一方で、子音ジェスチャを行わずに母音ジェスチャのみを行うと、母音ジェスチャに対応する「あ、い、う、え、お」の1文字が入力されます。

濁音 (Ex. 「が、じ、ど」)、半濁音 (Ex. 「ぶ」)、小書き文字 (Ex. 「っ、ゃ、ぁ」) の入力は、もとなる清音の子音ジェスチャを入力した後、「N」ジェスチャを入力するたびに、濁音、半濁音、小書き文字、清音、の順に入力のモードが切り替わり、母音ジェスチャを入力することで、対応する文字が入力されます。

「わ・を・ん・ー (長音)」は、「M」ジェスチャ入力後に「Y」ジェスチャを入力することで、続く母音ジェスチャによる入力が可能です。2ジェスチャを入力後、指を離すことにより「わ」、「i」ジェスチャにより「を」、「u」ジェスチャにより「ん」、そして「o」ジェスチャにより「ー」が、それぞれ入力できます。

子音ジェスチャは、指を離すまで何度でもやり直すことができます。入力途中で操作を誤った場合は、指を離さずにタッチした位置に指を戻し、一度「R」ジェスチャを行うことで、再度の入力が可能です。

ア行の再選択は、「K」ジェスチャのあと「S」ジェスチャを行うことにより可

能です。ア行の再選択を行った後、「N」ジェスチャを行うたびに、ア行の小書き文字「あ、い、う、え、お」の入力とア行「あ、い、う、え、お」の入力のモードが切り替わり、母音ジェスチャを入力することで、対応する文字が入力されます。

1文字の削除をするためには、「M」ジェスチャのあとに「S」ジェスチャを行い、指を離す、または「u」ジェスチャ、「o」ジェスチャのいずれかを行います。

短文の入力を終える（確定する）ためには、「M」ジェスチャのあとに「S」ジェスチャを行い、「i」ジェスチャ、「e」ジェスチャのいずれかを行います。

<実験の流れ>

1. スマートフォンとスマートウォッチの2つの端末のタッチスクリーンにおいて、それぞれ、短文を計40個入力していただきます。端末を操作する順番はこちらが指定します。
 - 実際に測定を行う前に、それぞれの端末ごとに、10分ほど入力の練習を行い、操作に慣れていただきます。このときは、端末の手元を見て操作しても構いません。
 - 5個の短文を入力するごとに、測定が中断し、ディスプレイに入力速度とエラーの割合が表示されます。疲れを感じた場合は、この間に5分の休憩を取ることができます。
 - 短文を入力する前に、ディスプレイに表示される短文をよく読んで、できる限り文を覚えてから入力を始めてください。入力中は、できる限り速く、かつ正確に入力することに注意してください。
 - 測定は、操作する端末と手元を箱の中に入れ、視界を遮った状態で行います。
 - 追加の操作が必要な場合は、都度こちらが代わって操作を行いますので、指示に従ってください。
2. 測定実験後、アンケートを行いますので、ご回答ください。

A.2 実験2にて配布された説明資料

実験についての説明

文責：漆山裕太

<はじめに>

本日は、実験にご協力いただき、誠にありがとうございます。本実験は、スマートフォンおよびスマートウォッチにおいて、アイズフリーかつ片手指一本の操作によるかな文字入力を行うためのシステムを使用し、文字入力性能と使用感を検証するための実験です。

<システムの操作説明>

別紙に、本文字入力システムによる文字入力方法の説明図を印刷しています。本システムでは、一筆書きのジェスチャによってかな文字の入力を行います。本システムで用いる一筆書きのジェスチャには、画面に指を触れたままタッチした位置に戻ってくるジェスチャ（子音ジェスチャ）と、指を最後に画面から離すジェスチャ（母音ジェスチャ）があります。画面にタッチした後に、子音ジェスチャを何回か入力した後、母音ジェスチャを行うことにより、子音と母音に対応する1文字が入力されます。一方で、子音ジェスチャを行わずに母音ジェスチャのみを行うと、母音ジェスチャに対応する「あ、い、う、え、お」の1文字が入力されます。

濁音 (Ex. 「が、じ、ど」)、半濁音 (Ex. 「ぶ」)、小書き文字 (Ex. 「っ、ゃ、ぁ」) の入力は、もとなる清音の子音ジェスチャを入力した後、「N」ジェスチャを入力するたびに、濁音、半濁音、小書き文字、清音、の順に入力のモードが切り替わり、母音ジェスチャを入力することで、対応する文字が入力されます。

「わ・を・ん・ー (長音)」は、「M」ジェスチャ入力後に「Y」ジェスチャを入力することで、続く母音ジェスチャによる入力が可能です。2ジェスチャを入力後、「a」ジェスチャにより「わ」、「I」ジェスチャにより「を」、「u」ジェスチャにより「ん」、そして「o」ジェスチャにより「ー」が、それぞれ入力できます。

子音ジェスチャは、指を離すまで何度でもやり直すことができます。入力途中で操作を誤った場合は、指を離さずにタッチした位置に指を戻し、一度「R」ジェスチャを行うことで、再度の入力が可能です。

ア行の再選択は、「K」ジェスチャのあと「S」ジェスチャを行うことにより可

能です。ア行の再選択を行った後、「N」ジェスチャを行うたびに、ア行の小書き文字「あ、い、う、え、お」の入力とア行「あ、い、う、え、お」の入力のモードが切り替わり、母音ジェスチャを入力することで、対応する文字が入力されます。

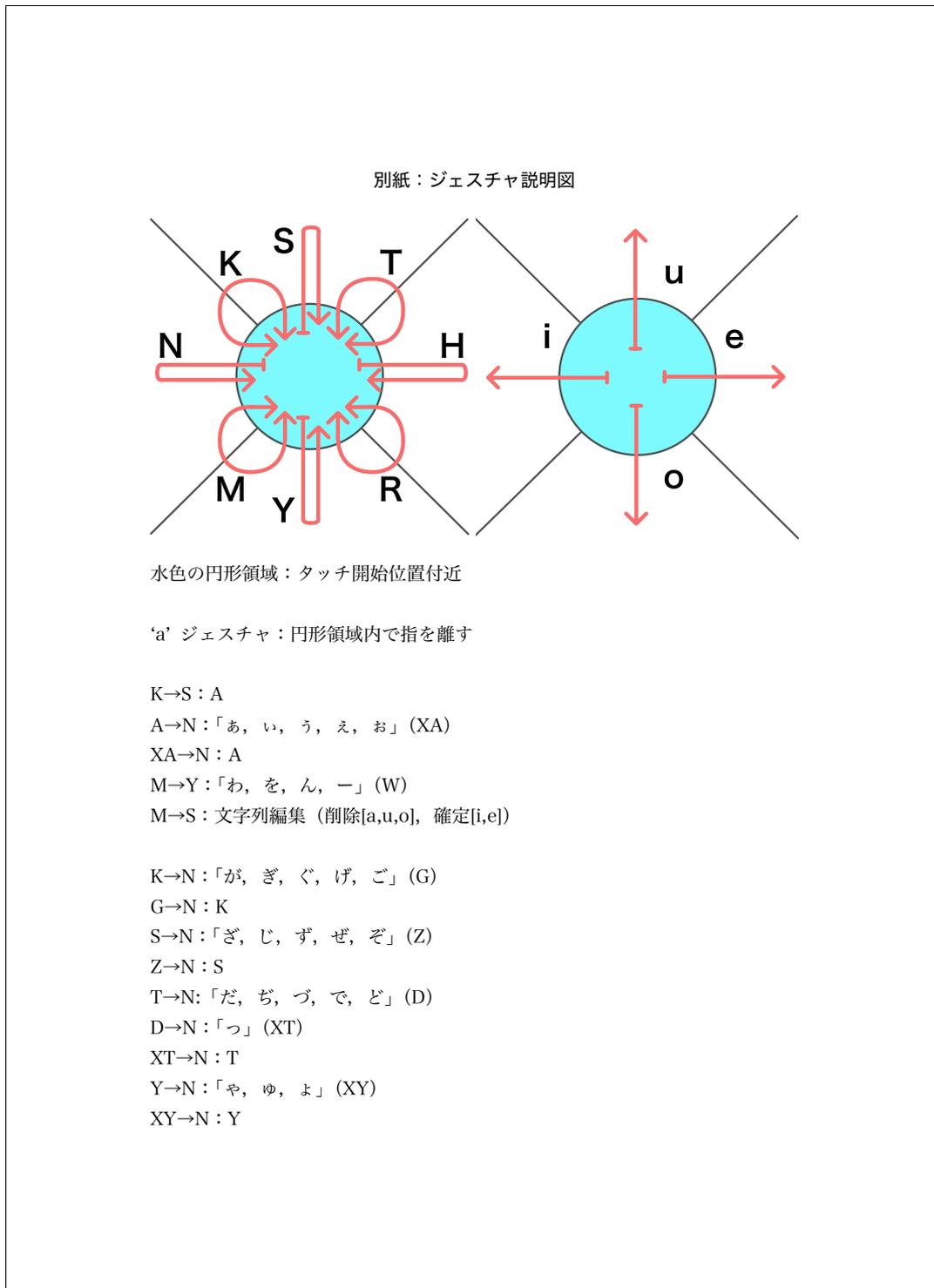
1文字の削除をするためには、「M」ジェスチャのあとに「S」ジェスチャを行い、「a」ジェスチャ、「u」ジェスチャ、「o」ジェスチャのいずれかを行います。

短文の入力を終えるためには、画面を操作する手と反対側の手の人差し指で、手元に置かれたボタンを押します。ボタンの反応を確実にするため、ボタンを押すときは、真上から、強く、深く押し込むようにしてください。ただし、ボタンが離されたときに短文入力終了と判定されるため、長押しをしないようにご注意ください。

<実験の流れ>

1. スマートフォンとスマートウォッチの2つの端末のタッチスクリーンにおいて、それぞれ、短文を計40個入力していただきます。端末を操作する順番はこちらが指定します。
 - 実際に測定を行う前に、それぞれの端末ごとに、10分ほど入力の練習を行い、操作に慣れていただきます。このときは、端末の手元を見て操作しても構いません。
 - 5個の短文を入力するごとに、測定が中断し、ディスプレイに入力速度とエラーの割合が表示されます。疲れを感じた場合は、この間に5分の休憩を取ることができます。
 - 短文を入力する前に、ディスプレイに表示される短文をよく読んで、できる限り文を覚えてから入力を始めてください。入力中は、できる限り速く、かつ正確に入力することに注意してください。
 - 測定は、操作する端末と手元を箱の中に入れ、視界を遮った状態でを行います。
 - 追加の操作が必要な場合は、都度こちらが代わって操作を行いますので、指示に従ってください。
2. 測定実験後、アンケートを行いますので、ご回答ください。

A.3 実験1および実験2にて配布された説明図



A.4 測定前に行ったアンケート

実験に関する事前アンケート

文責：漆山裕太

当てはまる方に丸をつけ、下線部は記入してください。

1. 年齢、性別、利き手についてお答えください。

年齢： _____ 歳・不明

性別： 男・女・その他

利き手： 右・左・両手

2. 普段スマートフォンを使用していますか？使用している機種は何ですか？

使用していない・使用している（機種： _____）

（機種の例：iPhone XS, Samsung Galaxy Note9）

以下の3～5は、2で「使用している」と答えた方のみお答えください。

3. スマートフォンの利用歴はどのくらいですか？

_____ 年 _____ ヶ月

4. 普段、携帯情報端末において利用している日本語文字入力方式は

何ですか？また、その利用歴はどのくらいですか？（複数回答可）

1. フリック入力 _____ 年 _____ ヶ月

2. QWERTY キーボードを使用したローマ字入力 _____ 年 _____ ヶ月

3. アプリ（名称： _____） _____ 年 _____ ヶ月

4. その他（ _____） _____ 年 _____ ヶ月

5. 日本語文字入力を使用していない

5. 普段スマートフォンの画面を操作する際に用いる手をお答えください。

右・左・両手・その他（ _____）

6. 手元を見ずにスマートフォンの操作を行いたいと思うことはありますか？

（頻繁に思う） 5・4・3・2・1 （まったく思わない）

7. 普段スマートウォッチを使用していますか？使用している機種は何ですか？

使用していない・使用している（機種：_____）

（機種例：Apple Watch Series 4 40mm, Fitbit charge 3）

以下の8～10は、7で「使用している」と答えた方のみお答えください。

8. スマートウォッチの利用歴はどのくらいですか？

_____年 _____ヶ月

9. 普段、スマートウォッチにおいて利用している日本語文字入力方式は

何ですか？また、その利用歴はどのくらいですか？（複数回答可）

1. フリック入力 _____年 _____ヶ月

2. QWERTY キーボードを使用したローマ字入力 _____年 _____ヶ月

3. アプリ（名称：_____） _____年 _____ヶ月

4. その他（_____） _____年 _____ヶ月

5. 日本語文字入力を使用していない

10. 普段スマートウォッチの画面を操作する際に用いる手をお答えください。

右・左・両手・その他（_____）

11. 手元を見ずにスマートウォッチの操作を行いたいと思うことはありますか？

（頻繁に思う） 5・4・3・2・1 （まったく思わない）

以上で事前アンケートは終了です。ご回答ありがとうございました。

A.5 スマートフォン上における測定終了後に行ったアンケート

PP

System Usability Scale

文責：漆山裕太

1. このシステムをしばしば使いたいと思う
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
2. このシステムは不必要なほど複雑であると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
3. このシステムは容易に使えると思った
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
4. 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
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
5. このシステムにあるさまざまな機能がよくまとまっていると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
6. このシステムでは、一貫性のないところが多くあったとおもった
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
7. たいいていのユーザは、このシステムの使用方法について、すばやく学べるだろう
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
8. このシステムはとても扱いにくいと思った
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
9. このシステムを使うのに自信があると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
10. 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
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

自由記述欄 (思ったことがあれば自由に記述してください)

A.6 スマートウォッチ上における測定終了後に行ったアンケート

PW

System Usability Scale

文責：漆山裕太

1. このシステムをしばしば使いたいと思う
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
2. このシステムは不必要なほど複雑であると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
3. このシステムは容易に使えると思った
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
4. 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
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
5. このシステムにあるさまざまな機能がよくまとまっていると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
6. このシステムでは、一貫性のないところが多くあったとおもった
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
7. たいいていのユーザは、このシステムの使用方法について、すばやく学べるだろう
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
8. このシステムはとても扱いにくいと思った
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
9. このシステムを使うのに自信があると感じた
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)
10. 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
(そう思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

自由記述欄 (思ったことがあれば自由に記述してください)

A.7 実験1および実験2の双方の測定終了後に行ったアンケート

実験に関する事後アンケート

文責：漆山裕太

1. 本文字入力システムを使用して、かな入力が正確に行えると思われましたか？

(とても思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由

2. 本文字入力システムのキー配列は覚えやすいと思われましたか？

(とても思う) 5・4・3・2・1 (まったく思わない)

理由

3. 本文字入力システムについて、良かった点、改善すべき点、感想をご記入ください。

良かった点

改善すべき点

感想

以上でアンケートは終了です。ご協力ありがとうございました。

付録B 実験時に提示された文

次ページ以降に、3章において示した予備実験の際に提示された文10個および5章において示した評価実験の際に提示された短文40個を示す。

B.1 予備実験の際に提示された文 10 個

ID	文	文字数
1	つくばだいがく	7
2	これからかえます。	10
3	ありがとうございます。	11
4	ざんねんだなあ。	8
5	よるは、ぱんをたべる	10
6	にほんごにゆうりよくしゅほうをかんがえる	20
7	ぱそこんがこわれた。	10
8	はりーぼったーとふしちょうのきしだんをみる。	22
9	あしたはやすみ	7
10	ろんぶんをよむ。	8

B.2 評価実験の際に提示された文 40 個

ID	文	文字数	備考
1	ぎゅうにゅうかう	8	深津ら [深津 12] が実験時に用いた短文 24 個.
2	あしたかいぎ	6	
3	れぼーとしめきり	8	
4	かいぎしりょう	7	
5	しりょういんさつ	8	
6	すいどうだい	6	
7	ごごきゅうこう	7	
8	あしたはやすみ	7	
9	びでおへんきやく	8	
10	ろんぶんよむ	6	
11	どようのみかい	7	
12	れんしゅうなし	7	
13	あさってしめきり	8	
14	いんたらくしよん	8	
15	かいぎりまいんだ	8	
16	さぼてんにみず	7	
17	すけじゅーる	6	
18	せんたくものほす	8	
19	ろくがよやく	6	
20	べっとぼとる	6	
21	かんとりーまあむ	8	
22	やさいじゅーす	7	
23	あるみほいる	6	
24	ごめんなさい	6	

ID	文	文字数	備考
25	ぷりんとくぼる	7	我々が追加した短文 16 個.
26	ぱふえたべる	6	
27	ちきんぴらふ	6	
28	おこづかいわたす	8	
29	めしぢゃわん	6	
30	ふいるむげんぞう	8	
31	ぎぜんをくむ	6	
32	ねっとうそそぐ	7	
33	わっくすぬる	6	
34	ひこうきぐも	6	
35	ひるからおすし	7	
36	かつぶしきかせる	8	
37	うてんけっこう	7	
38	すうしきかする	7	
39	しねましようせつ	8	
40	すじょうちょうさ	8	